



Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

## **Sistema de Medida dos Índices de Qualidade da Água**

Rui Manuel dos Santos Peixeiro

Nº 070 279 043

**Versão Final**

**Dissertação de Mestrado em Integração de Sistemas Industriais**

Orientador: Prof. Doutor Octavian Postolache

Co-Orientador: Prof. Doutor Miguel Dias Pereira

Novembro 2012



*Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu  
Irmão, à minha família, à minha terra Sines  
e ao meu país.*

# Agradecimentos

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, a todos os meus Professores e colegas do Mestrado em Integração de Sistemas Industriais, o apoio e orientação neste percurso. Agradeço em particular aos Professores Dias Pereira e Octavian Postolache pela coordenação e orientação deste trabalho onde foram uma fundamental fonte de motivação e suporte para a sua realização. Quero também agradecer aos professores Paulo Felício, José Lucas, João Lourenço, João Nabais, Victor Viegas, Victoria Cortez, Paulo Ferreira, Rui Vilela e Carlos Banha o apoio e orientação durante todo este tempo, contribuindo assim como referências de prestígio para a minha formação académica e pessoal. Agradeço a todo grupo de colegas que me acompanhou por todo o bom companheirismo e amizade, os quais contribuíram para um percurso enriquecedor do ponto de vista humano através da partilha de experiências e vivências procurando sempre a boa disposição. Gostaria também de agradecer à Eng<sup>a</sup>. Dina Galhanas e ao Professor Ricardo Salgado a colaboração proveniente do departamento de química e a todos os funcionários da escola que sempre de alguma forma contribuem para que projectos como este sejam possíveis de realizar. Desejo a todos os referidos as melhores felicidades pessoais e profissionais pois para sempre os vou recordar.

# Resumo

Devido às preocupações ambientais existentes nos dias de hoje e a crescente importância da redução da poluição para um desenvolvimento sustentável, a monitorização da qualidade da água é muito importante e útil para o estudo das características físico químicas de todos os tipos de água e é essencial para compreender a necessidade de proteger e recuperar a qualidade de um elemento que é vital para todos nós e de todos os seres que nos rodeiam. O presente trabalho tem como objectivo o desenvolvimento de um sistema de medida de índices de qualidade da água, nomeadamente da condutividade, temperatura e turbidez. Uma característica importante é a flexibilidade em adicionar outros canais de medição sem que ocorram alterações significativas na componente do sistema de hardware. Para esse efeito são utilizados sensores para a medição das variáveis referidas e os respectivos circuitos electrónicos condicionadores de sinal. O sistema de medição de condutividade é constituído por uma célula de medida de dois eléctrodos ligada a um circuito condicionador que converte a medida num sinal de saída normalizado em tensão, que é aplicado na entrada de uma placa de aquisição. O sistema de medição de temperatura utiliza um sensor instalado próximo dos eléctrodos da célula de medida de condutividade de forma a compensar a influência da temperatura nesta medição. Para esse efeito é utilizado um circuito condicionador que converte a variação de temperatura num sinal de saída normalizado em tensão a aplicar na entrada analógica de uma placa de aquisição. O sistema de medida de turbidez baseia-se na interferência óptica provocada pelas partículas em suspensão na água, utilizando uma célula de medida que emite dois feixes de luz dispostos perpendicularmente. A luz captada proveniente das fontes luminosas é convertida por um circuito condicionador que converte a medida efectuada num sinal de saída normalizado em tensão para a entrada de uma placa de aquisição como nas situações anteriores. As variáveis medidas são processadas e apresentadas num ambiente virtual programado em LabVIEW. A realização de medições durante várias horas em locais remotos é possível devido à autonomia do sistema, fornecida pela apropriada selecção de alimentação por baterias. O instrumento virtual projectado e implementado é caracterizado por uma exactidão que satisfaz os requisitos para a avaliação da qualidade da água em rios e estuários.

**Palavras-chave:** Preocupações ambientais; qualidade da água; monitorização; instrumento virtual; condutividade; temperatura; turbidez; protótipos; baixo custo.



# Abstract

Due to the nowadays demanding for the environmental concerns and the growing importance of the pollution reduction for a sustained development, the water quality monitoring it's very important and useful to study the physical and chemical characteristics of all kind of water and essential to understand the needs to protect and recover the quality of one element which is vital to all of us and also all the beings who surround us. The present work has the objective of develop a water quality indices measuring system including conductivity, temperature and turbidity. This system allows the monitoring of the three physical variables on a computer. An important characteristic is the flexibility to add also other measurement channel without significant change of the system hardware component. For this target are used sensors for the measurement of the indicated variables and their signal conditioner electronic circuits. The conductivity system is constituted by a two electrodes measuring cell connected to a conditioner circuit who make the conversion of the measurement to a voltage normalized output signal which is connected to the input of a data acquisition system. The temperature measuring system uses a sensor installed near the conductivity cell electrodes for the compensation of the temperature influence in this measurement. This way a conditioner circuit is used which make the conversion of the temperature variation to a normalized voltage output signal which is applied to the input of a data acquisition system. The turbidity measuring system is based on the optic interference of light, made by the particles in suspension on the water, making use of a measurement cell that uses two light beam perpendicularly disposed. The captured light coming from the light sources is converted by a conditioner circuit that makes the conversion of the measurement to a normalized voltage output signal which is applied in the input of a data acquisition system like in the previous situations. The measured variables are processed and indicated in virtual ambient programmed in LabVIEW. Making measurements for several hours in remote locations is possible due to system autonomy provided by appropriate battery supply selection. The designed and implemented virtual instrument is characterized by accuracy that satisfied the application requirements of water quality assessment in rivers and estuaries.

**Keywords:** Environmental concerns; water quality; monitoring; virtual instrument; conductivity; temperature; turbidity; prototypes; low cost.

# Índice

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Índice .....	viii
Lista de Figuras .....	x
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Siglas e Acrónimos.....	xiii
Capítulo I.....	1
Introdução.....	1
I.1. Motivação .....	2
I.2. Objectivos .....	2
Capítulo II .....	5
Medição da Condutividade Eléctrica e Temperatura .....	5
II.1. Teoria da Condutividade .....	6
II.2. Medição de condutividade.....	9
II.3. Circuito condicionador de condutividade.....	11
II.4. Medição de temperatura .....	16
II.5. Fonte de alimentação de tensão simétrica .....	19
II.6. Conclusões.....	20
Capítulo III .....	21
Medição da Turbidez.....	21
III.1. Teoria e Medição de Turbidez .....	22
III.2. Circuito condicionador de turbidez .....	26
III.3. Conclusões .....	30
Capítulo IV .....	31
Procedimento Experimental .....	31
IV.1. Procedimento experimental - Condutividade.....	32
IV.2. Procedimento experimental – Temperatura .....	34
IV.3. Procedimento experimental – Turbidez .....	36
IV.4. Conclusões .....	38
Capítulo V .....	39



Programa de Monitorização .....	39
V.1. Estrutura base da programação.....	40
V.2. Monitorização de temperatura.....	41
V.3. Monitorização de Condutividade .....	42
V.4. Monitorização de Turbidez ou Turvação da Água.....	44
V.5. Resultados experimentais .....	48
V.6. Conclusões.....	50
Capítulo VI.....	51
Conclusões Gerais .....	51
VI.1. Conclusões Gerais e sugestões para futuros projectos.....	52
Bibliografia.....	57
Anexo I.....	61
Anexo II.....	63
Anexo III .....	64
Anexo IV .....	66

# Lista de Figuras

Figura I.1 - Sistema de medição dos índices de qualidade da água .....	3
Figura I.2 - Diagrama de Blocos do Sistema de Medição dos Índices de Qualidade da Água..	4
Figura II.1 - Medição de condutividade com dois eléctrodos .....	6
Figura II.2 - Sensor de condutividade .....	9
Figura II.3 - Eléctrodos de medida e sensor de temperatura.....	10
Figura II.4 - Circuito amplificador Operacional LF356 (extraído de [12]) .....	11
Figura II.5 - Circuito condicionador de condutividade .....	12
Figura II.6 - Diagrama Temporal do Circuito Condicionador de Condutividade.....	13
Figura II.7 - Pormenor da PCI do circuito condicionado de condutividade .....	13
Figura II.8 - Circuito oscilador Ponte de Wien .....	14
Figura II.9 - Sinal de tensão de saída do circuito oscilador <i>Ponte de Wien</i> .....	15
Figura II.10 - Esquema do circuito condicionador de temperatura.....	16
Figura II.11 - PCI com os circuitos condicionadores de temperatura e de condutividade.....	18
Figura II.12 - Esquema da fonte de alimentação do circuito .....	19
Figura III.1 - Disco de Secchi (extraído de [18]) .....	22
Figura III.2 - Tubo de Turbidez (extraído de [18]) .....	23
Figura III.3 - Esquema do sistema de medição de Turbidez.....	24
Figura III.4 - Pormenor célula de medição de turbidez.....	24
Figura III.5 - Esquema com os feixes de luz emitidos e detectados .....	25
Figura III.6 - Circuito condicionador de turbidez emissor de infravermelhos.....	26
Figura III.7 - Circuito condicionador de turbidez receptor de IV .....	27
Figura III.8 - Circuito condicionador de turbidez emissor e receptor de infravermelhos.....	29
Figura III.9 - Pormenor do Sensor Multiparamétrico e do Módulo Condicionador .....	29
Figura IV.1 - Gráfico de tensão de saída do circuito condicionador em função da condutividade com compensação de temperatura referenciada a 25 °C .....	32
Figura IV.2 - Curva característica do sistema de medição de condutividade .....	33
Figura IV.3 - Gráfico de variação de resistência eléctrica em função da temperatura .....	34
Figura IV.4 - Gráfico de tensão de saída em função da temperatura.....	35
Figura IV.5 - Gráfico da curva característica do sistema de medição de temperatura.....	35
Figura IV.6 - Gráfico do coeficiente de turbidez $C_m$ em função da turbidez.....	36
Figura IV.7 - Gráfico da curva característica do sistema de medição de turbidez.....	37

Figura V.1 - Exemplo da estrutura <i>While Loop</i> .....	40
Figura V.2 - Exemplo da <i>Flat Sequence Structure</i> .....	41
Figura V.3 - Programação do bloco de monitorização ou indicação de temperatura .....	42
Figura V.4 - Programação do bloco de monitorização ou indicação de condutividade sem compensação de temperatura .....	43
Figura V.5 - Bloco de programação de compensação de temperatura na medição de condutividade .....	43
Figura V.6 - Bloco emissor do primeiro feixe de IV .....	44
Figura V.7 - Bloco de aquisição dos sinais de saída dos circuitos receptores de infravermelhos com primeiro feixe activo .....	45
Figura V.8 - Bloco emissor do segundo feixe de IV .....	46
Figura V.9 - Bloco receptor do segundo feixe de IV .....	46
Figura V.10 - Cálculo do valor do coeficiente de Turbidez da solução.....	47
Figura V.11 - Cálculo do valor de Turbidez .....	47
Figura V.12 - Painel virtual de instrumentos das três variáveis físicas.....	48
 Figura AI. 1 - Placa de aquisição NI USB 6008 (extraído de [3]) .....	 61
Figura AI. 2 - Esquema de ligações das entradas/saídas analógicas da placa de aquisição NI USB 6008 .....	62
Figura AI. 3 - Esquema de ligações das entradas/saídas digitais da placa de aquisição NI USB 6008 .....	62
Figura AII. 1- Pormenor do Termómetro Digital Testo 720.....	63
Figura AIII. 1 - Pormenor da Estufa de secagem Binder KB 53 .....	64
Figura IV. 1 - Pormenor do condutivímetro RS 180-7127 .....	66

# Lista de Tabelas

Tabela V.1 - Resultados finais do sistema de medição de condutividade.....	48
Tabela V.2 - Resultados finais do sistema de medição de temperatura .....	49
Tabela V.3 - Resultados finais do sistema de medição de turbidez .....	49

# Lista de Siglas e Acrónimos

CI	Circuito Integrado
DAQ	Data Acquisition
ETARs	Estações de Tratamento de Água Resíduais
FTU	Unidades Nefelométricas de Formazina
GSM	Global System for Mobile Communications
NTC	Negative Temperature Coefficient
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
PC	Personal Computer
PCI	Placa de Circuito Impresso
TDS	Total Dissolved Solids
USB	Universal Serial Bus
VI	Virtual Instrument

# Lista de Símbolos

$\alpha$	Coeficiente de temperatura
$\sigma$	Condutividade da solução
$\sigma_{cal}$	Condutividade eléctrica à temperatura da solução
$\sigma_T$	Condutividade eléctrica à temperatura de referência (25 °C)

$A$	Área
$C$	Capacidade eléctrica
$Cm$	Coeficiente de turbidez
$f_o$	Frequência de oscilação
$G$	Condutância eléctrica
$I$	Corrente eléctrica
$K_c$	Constante da célula
$L$	Comprimento
$R$	Resistência eléctrica
$T$	Temperatura
$TU$	Turbidez da solução
$U$	Tensão eléctrica

# Capítulo I

## Introdução

Neste capítulo encontra-se a descrição dos motivos da realização do projecto apresentado nesta dissertação e quais os seus principais objectivos. O seu desenvolvimento demonstra a importância em criar soluções de monitorização ambiental que sirvam de apoio ao desenvolvimento sustentável respeitando as comunidades envolventes. É efectuada uma apresentação resumida da sua estrutura e funcionamento de forma a obter a monitorização de alguns parâmetros da qualidade da água apresentados num ambiente virtual flexível ao aumento do número de variáveis a monitorizar. É sugerida a sua aplicação em situações onde não se requer um sistema de elevada exactidão, apresentando-se desta forma como uma solução economicamente interessante neste contexto. A sua disponibilidade para efectuar medições em locais remotos é também referida, conferindo este facto uma maior versatilidade ao sistema de medição.

## **I.1. Motivação**

O motivo da realização deste projecto vai ao encontro do esforço de desenvolvimento tecnológico necessário realizar para que seja possível o estudo e conhecimento científico dos diversos meios aquosos existentes e do seu comportamento em função das alterações climáticas ou de outra natureza. Este projecto pretende ser um pequeno contributo nesse sentido, inspirando se possível investimentos maiores nesta área. Actualmente existem bastantes sistemas comerciais de medição da qualidade da água para aplicações industriais ou laboratoriais em que muitas vezes são instrumentos individuais de elevado custo económico, onde a extrema exactidão que apresentam vai muito para além do que seria necessário para aplicações comuns como é o caso de medições em rios, lagos ou oceanos. Para uma detecção preliminar de alterações na qualidade da água, muitas vezes um sistema menos exacto é suficiente como no caso da presente aplicação onde se pretende medir a condutividade eléctrica, a temperatura, a turbidez ou até mais variáveis. Por este motivo é interessante poder encontrar soluções de baixo custo que possuam uma exactidão satisfatória e que se apresentem como uma solução alternativa a outros sistemas muito mais dispendiosos. Este sistema pode desta forma ser uma ferramenta útil e importante no contribuindo para a preservação do ambiente e um desenvolvimento sustentável que respeite os ecossistemas envolventes.

## **I.2. Objectivos**

O presente projecto tem o objectivo de desenvolver um instrumento virtual que permita efectuar a medição dos parâmetros de qualidade da água, nomeadamente a condutividade eléctrica, a temperatura e a turbidez com a possibilidade de acrescentar outras variáveis se o for pretendido, sem ser necessário recorrer a grandes modificações de hardware. As variáveis referidas podem ser indicadoras de alterações nos meios onde se efectuam as medidas e permitem através delas estudar se as causas dessas alterações são naturais ou de outra natureza [1, 2]. As gamas de medição para que o sistema foi dimensionado, permitem a realização do estudo do comportamento das alterações do meio aquático em lagos, rios e outros meios aquosos. O sistema de medição é constituído por uma sonda multiparamétrica, um módulo de aquisição e condicionamento que permite a ligação por USB a um PC. O projecto é também constituído pelo programa VI (Virtual Instrument) desenvolvido em



software LabVIEW para a indicação e monitorização das variáveis. A estrutura de hardware (Figura I.1) é construída para permitir a sua operação de uma forma simples e prática em laboratórios ou em locais remotos onde se requer o seu transporte. O sensor multiparamétrico é estanque a pequenas profundidades sendo adequado para efectuar medições superficiais. O módulo de aquisição e condicionamento contém no seu interior os circuitos electrónicos condicionadores, a fonte de alimentação e a placa de aquisição DAQ NI USB-6008 [3, 4] para comunicação com o PC.

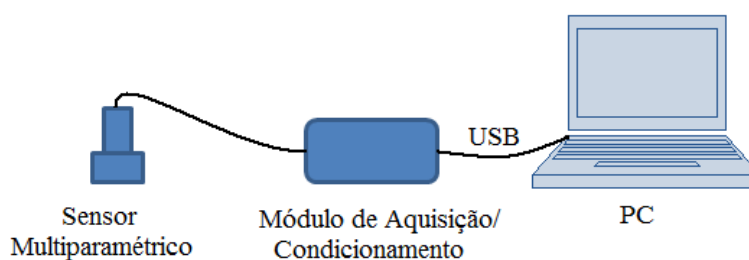


Figura I.1 - Sistema de medição dos índices de qualidade da água

Como sensor de condutividade é utilizada uma célula de medida de condutividade de dois eléctrodos devido à sua simplicidade e adequada geometria, que permite obter uma gama de medição bastante abrangente. Devido à influência da temperatura na medição de condutividade, o sistema prevê a indispensável compensação [1, 5] do seu efeito indesejado que introduz erros significativos nas medições através de um sensor de temperatura resistivo NTC. A compensação é efectuada tendo como referência a temperatura de 25 °C e para esse efeito é utilizado o correspondente circuito electrónico condicionador de temperatura que fornece um sinal de saída em tensão. É também desenvolvido neste projecto, um sistema que permite efectuar a medição de turbidez da água cujo princípio de funcionamento é baseado na interferência óptica provocada pelas partículas em suspensão na água. Este método consiste na utilização de dois feixes de luz de infravermelhos que são emitidos perpendicularmente pelo sensor de medida através de dois díodos emissores de infravermelhos controlados por software. O sensor é também constituído por dois díodos receptores de infravermelhos que detectam as intensidades de luz transmitida e reflectida através da solução aquosa. Ambos os sinais provenientes dos detectores de luz utilizados sofrem o condicionamento necessário em dois circuitos electrónicos condicionadores de forma a traduzir num sinal em tensão a medida que efectuam. Com o objectivo de permitir o sistema efectuar medições em lugares remotos e o dotar de uma autonomia de algumas horas, é também desenvolvida uma fonte de tensão

simétrica com possibilidade de selecção da alimentação fornecida por baterias. Para efectuar a aquisição e processamento das grandezas analógicas, é utilizado um módulo de aquisição DAQ NI USB-6008, onde nas suas entradas analógicas são aplicados os sinais de tensão de saída dos circuitos condicionadores, tornando possível a sua monitorização em ambiente virtual através de uma ligação USB (Figura I.2).

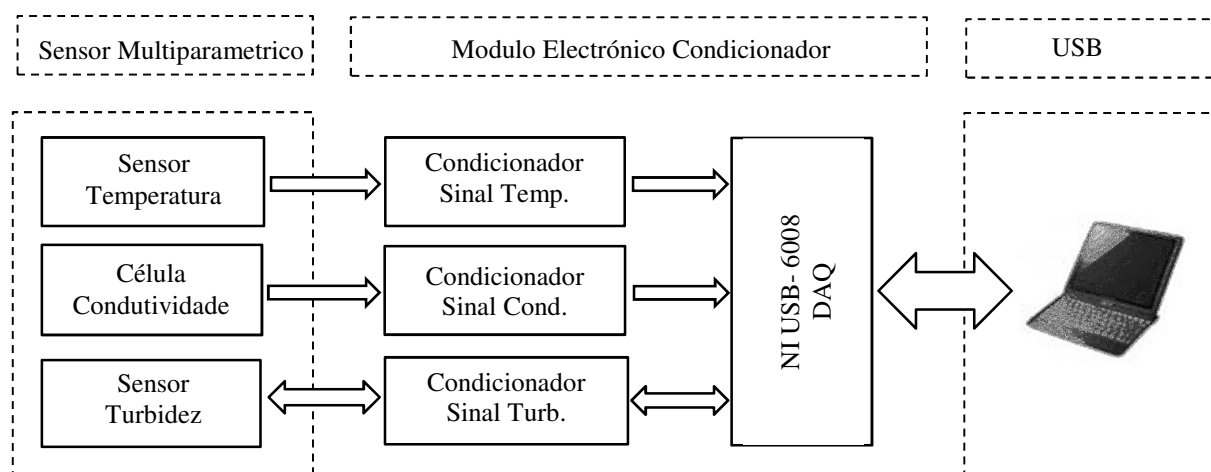


Figura I.2 - Diagrama de Blocos do Sistema de Medição dos Índices de Qualidade da Água

Para realizar o processamento e monitorização das variáveis, é construído um programa VI em LabVIEW onde é feita a configuração das entradas analógicas e saídas digitais e a programação por blocos dos cálculos e algoritmos que permitem a indicação das variáveis num painel de instrumentos virtual. Desta forma obtém-se um sistema flexível que pode ter aplicação prática representando uma solução viável e de baixo custo para aplicações onde não se pretendem medições com exactidão muito elevada.

# Capítulo II

## Medição da Condutividade Eléctrica e Temperatura

Neste capítulo é feita uma descrição da teoria da condutividade abordando as situações mais usuais da sua aplicação e a sua importância na medição da qualidade da água. É referida a necessidade de efectuar a compensação de temperatura na condutividade visto que a sua influência introduz erros consideráveis na medição. São também genericamente descritas as técnicas de medição aplicadas actualmente na medição da condutividade e justificada a escolha da solução desenvolvida neste projecto. É apresentada a descrição dos sistemas de medição de condutividade e temperatura, apresentando a explicação da constituição e funcionamento dos seus circuitos electrónicos condicionadores que têm como função colocar nas suas saídas dois sinais de tensão contínua, que são posteriormente aplicados nas correspondentes entradas analógicas da placa de aquisição DAQ NI USB-6008. É também apresentada a descrição e funcionamento da fonte de tensão contínua utilizada, a qual apresenta alimentação alternativa fornecida por baterias que permite ao sistema efectuar medições remotas.

## II.1. Teoria da Condutividade

A condutividade da água define-se como a capacidade que esta tem em conduzir a corrente eléctrica. É determinada pela quantidade total de sólidos dissolvidos (TDS), ou a quantidade de iões dissolvidos na água. Essa capacidade depende de alguns factores como a concentração, o solvente, o soluto, a temperatura [5], ou qualquer outro tipo de factor que tenha influência na quantidade de iões presentes ou na facilidade com que estes se movem numa solução. Esta medida permite obter apenas uma avaliação quantitativa, não sendo por si só suficiente para permitir a distinção química das substâncias ou matérias existentes na solução [1, 6, 7]. No caso de soluções aquosas, quanto mais puras forem menor será a sua condutividade devido à ausência cargas iónicas. Para soluções muito puras como a água desmineralizada, o valor da condutividade é baixo quando comparado com os valores de condutividade da água em rios e oceanos, em que devido à existência de maior quantidade total de sólidos dissolvidos a condutividade é maior [2]. A forma mais usual de efectuar a sua medição consiste em aplicar uma tensão alternada em dois eléctrodos quimicamente inertes mergulhados na solução que se pretende medir, como exemplificado na Figura II.1.

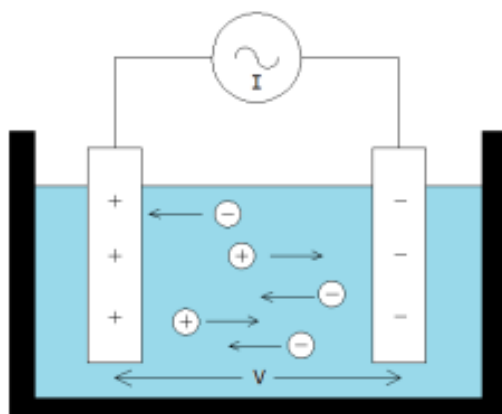


Figura II.1 - Medição de condutividade com dois eléctrodos

O motivo da utilização de tensão alternada deve-se ao facto de se pretender evitar os fenómenos de polarização, ou seja, a acumulação e migração de cargas eléctricas positivas (catiões) para o eléctrodo negativo (cátodo) e das cargas negativas (aniões) para o eléctrodo positivo (ânodo). Note-se que em condutores metálicos a corrente eléctrica é formada pelo fluxo de electrões através do material e neste caso a corrente eléctrica é formada pelo fluxo de

iões. Este fenómeno ocorre sempre que existe uma diferença de potencial entre os dois eléctrodos. Assim, entre estes a *lei de ohm* representada por (2.1), é válida para corrente contínua assim como para corrente alternada se a frequência não for muito elevada.

$$U = RI \quad (2.1)$$

Esta lei determina a corrente que flui pela solução, onde o parâmetro “ $G$ ” é o inverso da resistência (2.2) que determina a *condutância* do conjunto solução e eléctrodos.

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.2)$$

No caso da condução da corrente eléctrica se dar apenas entre o volume comum aos dois eléctrodos, a *condutância* é dada pela expressão (2.3). Esta situação é aplicada numa célula de medição de condutividade.

$$G = \frac{\sigma A}{l} \quad (2.3)$$

Onde  $A$  define a área comum entre os dois eléctrodos que se encontram à distância  $l$  e o parâmetro  $\sigma$  define a condutividade da solução (2.4).

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{l}{A} = \frac{Kc}{R} \quad (2.4)$$

À relação existente entre a distância a que se encontram os eléctrodos e a área destes (2.5), dá-se o nome de constante da célula  $Kc$ , a qual é uma característica inerente à geometria da célula. Para soluções com um valor de condutividade mais baixo esta constante é desenhada ou projectada para que a distância entre eléctrodos seja menor e a sua área maior de forma a obter uma constante de valor mais baixo e permitir obter uma medida mais exacta. Em situações de valores de condutividade mais alto o valor da constante da célula é desenhado para ser maior, sendo necessário para esse efeito aumentar a distância entre os eléctrodos ou então diminuir a sua superfície [1, 6, 7].

$$Kc = \frac{l}{A} \quad (2.5)$$

As unidades de condutividade definidas pelo sistema internacional são Siemens por metro (S/m), sendo também comum encontrar nas medições de condutividade da água na forma Siemens por centímetro (S/cm), ou o micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) para as situações em que a água apresenta um elevado grau de pureza. Os valores de condutividade têm sempre como referência a temperatura de normalmente 25 °C, embora existam também aplicações onde se utiliza a temperatura de referência para 20 °C. Esta correcção é necessária devido ao aumento de temperatura provocar uma diminuição da viscosidade da água e facilitar o movimento dos iões. Desta forma é então necessário efectuar a medição da condutividade e da temperatura de forma a permitir efectuar a sua correcção para permitir a comparação de valores em relação ao valor de referência utilizado [1, 5]. A expressão utilizada para esse efeito é a seguinte:

$$\sigma_T = \sigma_{cal}[1 + \alpha(T - T_{cal})] \quad (2.6)$$

Para a compensação de temperatura na condutividade da água, considerou-se uma temperatura de referência de 25 °C e o coeficiente de temperatura da solução igual a 2 %/°C, ficando a expressão anterior na forma (2.7).

$$\sigma_{cal} = \frac{\sigma_T}{1 + 0,02(T - 25)} \quad (2.7)$$

## II.2. Medição de condutividade

As técnicas de medição de condutividade actuais dividem-se principalmente em dois grupos. No primeiro caso os eléctrodos de medida encontram-se em contacto com a solução. Nesta situação o princípio de medida consiste em aplicar uma tensão alternada nos dois eléctrodos e medir a corrente que atravessa a solução que depende da condutividade do meio. Normalmente a frequência aplicada encontra-se compreendida entre 50 Hz e 10 KHz. O sensor de medida utilizado neste projecto encontra-se representado na Figura II.2 e foi escolhido devido à sua simplicidade e robustez.



Figura II.2 - Sensor de condutividade

Outra forma de efectuar a medição de condutividade é através de uma célula de quatro eléctrodos, em que o princípio de medida consiste em aplicar uma corrente alternada constante no primeiro par de eléctrodos e no segundo par efectuar a medição de tensão que depende da variação da resistência eléctrica da solução ou do seu inverso (condutância). O segundo conjunto é constituído pelos sensores de condutividade indutivos, onde não existe contacto entre os eléctrodos e a solução. O seu princípio de funcionamento baseia-se na indução eléctrica e é idêntico ao de um transformador constituído por um enrolamento primário, um núcleo e um enrolamento secundário. Na verdade o tipo de sensor indutivo mais utilizado é constituído por um transformador duplo, ou seja, dois transformadores toroidais contidos paralelamente dentro de um encapsulamento plástico. Desta forma é aplicada uma tensão alternada no enrolamento primário do primeiro transformador e é a solução líquida em que se encontram mergulhados que forma o enrolamento secundário do primeiro transformador e o enrolamento primário do segundo transformador. Isto significa que o

acoplamento indutivo entre os dois é feito pela solução líquida e que a tensão aplicada no primário do primeiro transformador induz uma corrente na solução que provoca um campo magnético no segundo toróide e consequentemente uma tensão ou corrente de saída no seu secundário, a qual é directamente proporcional à condutância da solução. As vantagens da utilização deste tipo de sensor devem-se ao facto de não existir contacto com a solução, evitando assim erros de medida devido aos fenómenos de polarização e contaminação da superfície dos eléctrodos. Para além de ser necessitaria pouca manutenção e de apresentar uma exactidão bastante alta, este tipo de sensor tem muito bom desempenho em situações de temperaturas elevadas, pressões altas e de grande agressividade química, motivos pelos quais têm grande aplicação em ambientes industriais. No presente trabalho, a medição de condutividade é efectuada utilizando uma célula em que os eléctrodos se encontram em contacto com a solução (Figura II.3) [6, 7].

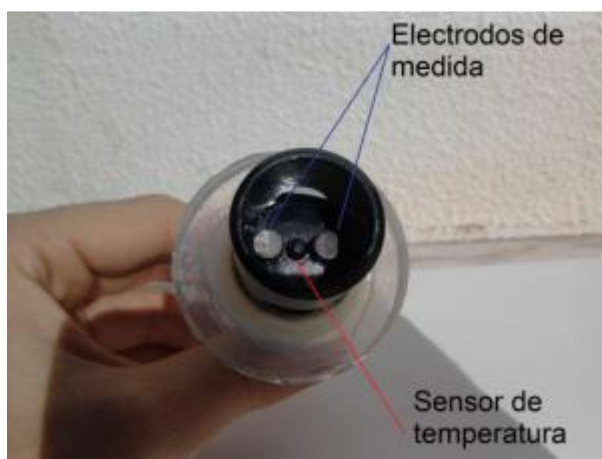


Figura II.3 - Eléctrodos de medida e sensor de temperatura

Para evitar o efeito de polarização e consequente acumulação de sais na sua superfície, é-lhes aplicada uma tensão alternada sinusoidal com uma frequência suficientemente alta que impeça os iões de reagir e tendencialmente se acumularem na superfície dos eléctrodos. Com o passar do tempo é necessário realizar procedimentos de limpeza e de calibração, dado que ocorre sempre a contaminação da superfície dos eléctrodos de medida. Na Figura II.3 pode ver-se em detalhe a constituição da célula de medida utilizada, que para além dos eléctrodos de medida possui também um sensor de temperatura resistivo NTC, cuja resistência eléctrica varia com a temperatura na sua razão inversa. Este sensor tem como função permitir efectuar a compensação de temperatura na medição de condutividade [1, 5, 8].



### II.3. Circuito condicionador de condutividade

O circuito condicionador de condutividade [1, 8, 9], é constituído por um circuito oscilador (Ponte de Wien, Figura II.8, [10, 11]) que gera uma onda alternada sinusoidal representado como  $V_I$  (Figura II.5), a qual é aplicada nos eléctrodos da célula de medição de condutividade designada como “*Sensor*” na mesma figura. A tensão presente nos terminais dos eléctrodos resultante da condutividade da solução é então aplicada na entrada (B) do circuito detector de valor médio activo [11], cuja montagem se encontra em torno de  $U_4$ , o qual é um circuito amplificador operacional LF356 (Figura II.4) [12], à semelhança de todos os que são utilizados neste projecto.

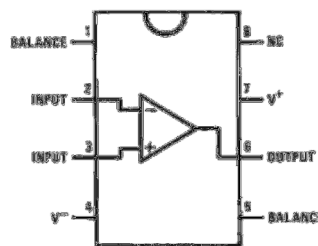


Figura II.4 - Circuito amplificador Operacional LF356 (extraído de [12])

A última etapa do circuito condicionador é uma montagem amplificadora não inversora [13, 14] de ganho 3, construída em torno de  $U_5$ , que permite a amplificação da saída do circuito detector de valor médio (C) através da expressão (2.9), obtendo assim uma maior sensibilidade no sinal de saída do circuito (D).

$$A_0 = 1 + \frac{R_5}{R_4} \quad (2.9)$$

Desta forma as variações da resistividade da solução aquosa são detectadas pelos eléctrodos de medida e convertidas num sinal de saída de tensão que permite obter uma boa sensibilidade atendendo à gama de medida que se pretende. É importante referir que a variação da tensão de saída apresenta uma variação não linear causada devido ao facto da variação de tensão gerada pelo divisor de tensão formado por  $R_I$  e “*Sensor*” não ser linear.

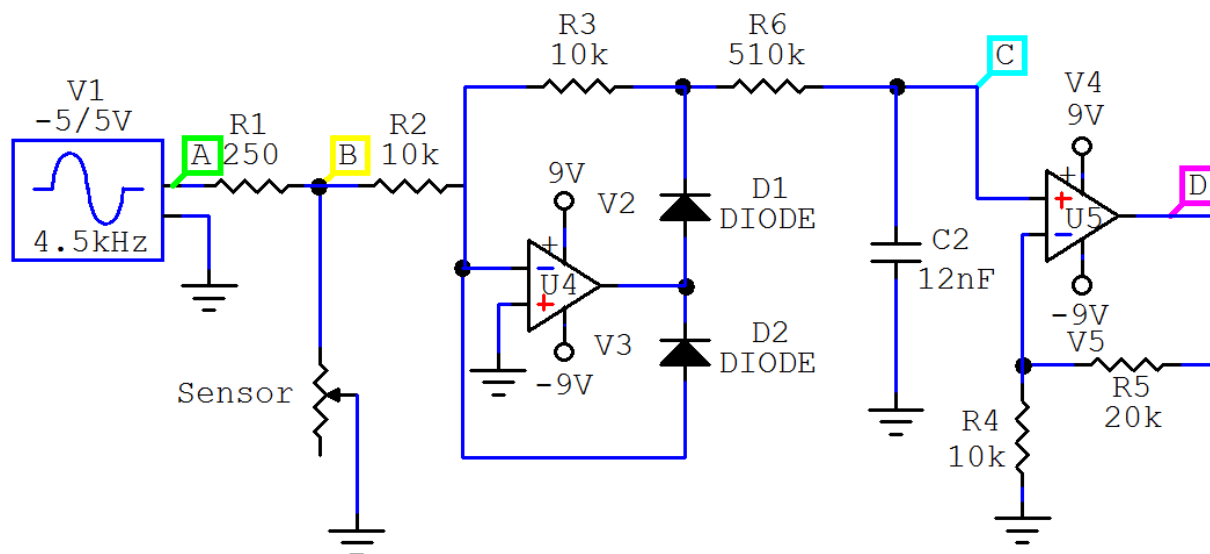


Figura II.5 - Circuito condicionador de condutividade

**Lista de componentes:**

- 1 – Resistência de 250  $\Omega$  / ½ W
- 3 – Resistência de 10 K $\Omega$  / ¼ W
- 1 – Resistência de 20 K $\Omega$  / ¼ W
- 1 – Condensador de poliéster 12 nF
- 2 – C.I. amplificador operacional LF356
- 1 – Díodo de silício 1N4148

De forma a verificar o funcionamento do circuito anterior, efectuou-se a sua simulação no programa Circuit Maker 2000 [15]. Para esse efeito foi escolhido dentro da gama de medição do circuito, um ponto de funcionamento simulado através da resistência de “Sensor” (Figura II.5) para 1 K $\Omega$ , onde para este valor corresponderia uma condutividade de 2,75 mS/cm, de uma suposta solução a medir. Através desta simulação obteve-se a resposta temporal representada na Figura II.6, onde é possível observar-se de acordo com a legenda, que a onda de entrada aplicada no ponto A, é dividida através do divisor de tensão em B, para em seguida ser efectuado o cálculo do seu valor médio em C e por fim sofrer uma amplificação na última etapa do circuito obtida no ponto D.

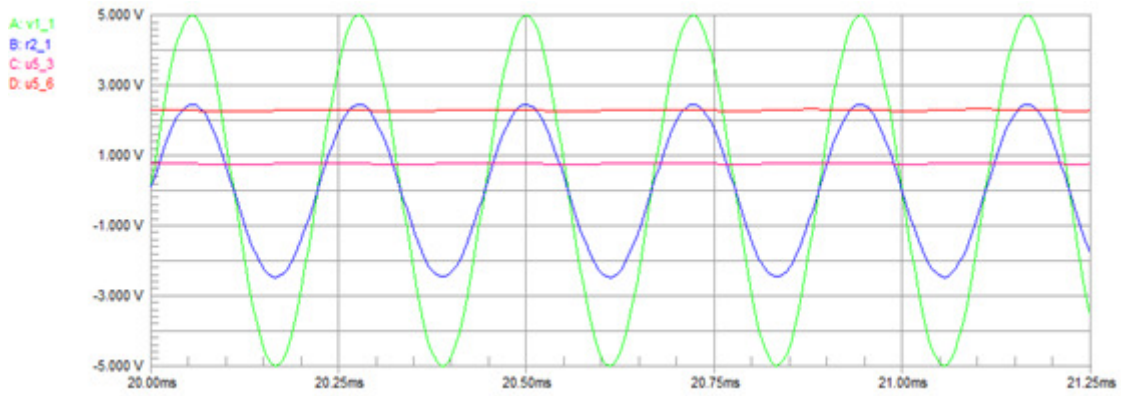


Figura II.6 - Diagrama Temporal do Circuito Condicionador de Condutividade

O circuito condicionador de condutividade foi desenhado e construído para partilhar a mesma placa de circuito impresso do circuito condicionador de temperatura conforme a Figura II.7, onde se encontram identificados os CI das etapas  $U_4$  e  $U_5$  correspondentes ao condicionamento de condutividade.

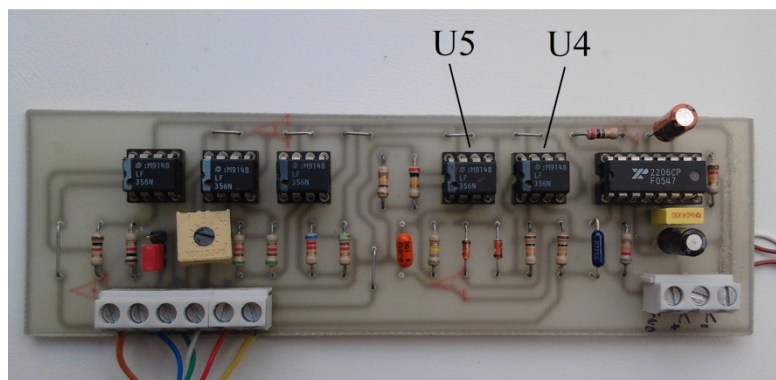


Figura II.7 - Pormenor da PCI do circuito condicionado de condutividade

Devido à necessidade de aplicar nos eléctrodos de medida uma onda alternada sinusoidal, foi utilizado um circuito oscilador clássico *Ponte de Wien*, representado na Figura II.8, [10, 11]. Esta foi escolhida devido ao baixo custo e à simplicidade da sua montagem permitir obter uma onda sinusoidal sem grande distorção para a frequência de oscilação pretendida.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.8)$$

É importante notar que para existir oscilação na saída do circuito é necessário respeitar o facto de este operar no limiar da estabilidade, o qual é dado pela condição (2.10) e implica que ganho da montagem seja igual a 3.

$$A_0 = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (2.9)$$

Dado que este circuito opera no ponto de funcionamento referido recorre-se ao potenciómetro  $R_1$ , para efectuar o seu ajuste e obter o ponto de oscilação. De acordo com a Figura II.6, o circuito foi dimensionado para obter uma frequência de saída de aproximadamente 723 Hz, considerando:  $R = 10 \text{ K}\Omega$  e  $C = 22 \text{ nF}$ . A frequência utilizada para a geração de uma onda alternada sinusoidal de 723 Hz, foi determinada experimentalmente de forma a verificar que não ocorrem fenómenos de polarização significativos ou que revelem a ocorrência de electrólise da água.

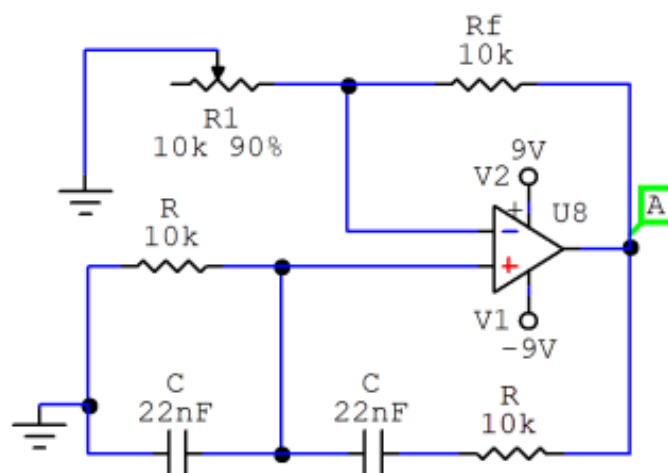


Figura II.8 - Circuito oscilador Ponte de Wien

#### **Lista de componentes:**

- 1 – Potenciómetro de 10 K $\Omega$
- 3 – Resistência de 10 K $\Omega$  / ¼ W
- 2 – Condensador de poliéster 22 nF
- 2 – C.I. amplificador operacional LF356

De forma a verificar o funcionamento do circuito projectado efectuou-se uma simulação virtual (Figura II.9) recorrendo ao programa Circuit Maker 2000 [15], com o objectivo de verificar a qualidade do sinal de saída resultante da montagem para os valores dimensionados. Esta montagem revela-se bastante importante dado que o resultado de todas as medições depende do sinal de tensão sinusoidal que lhes é aplicado, o qual deve apresentar uma boa estabilidade.

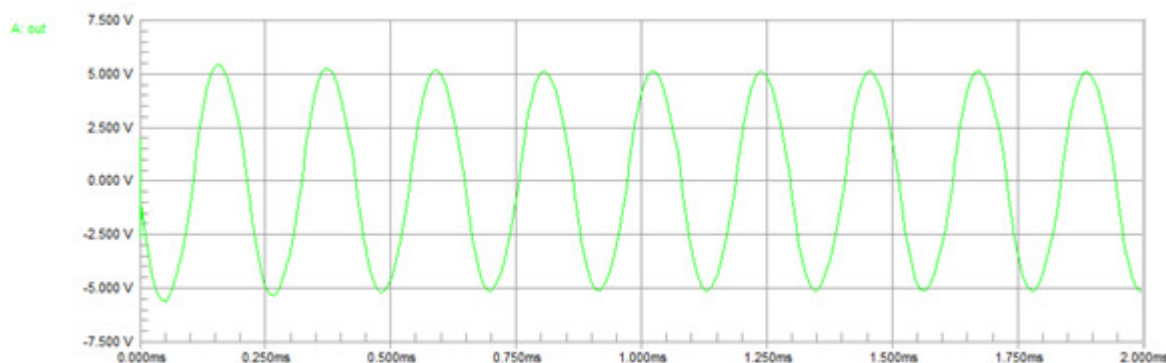


Figura II.9 - Sinal de tensão de saída do circuito oscilador *Ponte de Wien*

Desta simulação obteve-se a resposta do seu sinal de tensão de saída representada na Figura II.9, onde se observa que o circuito nos instantes iniciais necessita de algum tempo para estabilizar a sua amplitude de saída, que em seguida permanece estável, demonstrando muito pouca distorção ao funcionar numa frequência muito próxima do valor dimensionado de 4,5 KHz. Este é um aspecto relevante devido ao facto de ser muito importante ter um sinal de saída que mantenha constantes as suas características, uma vez que, esta é a tensão aplicada no sensor de condutividade de dois eléctrodos em todas as soluções que se pretendem medir, sendo portanto muito importante garantir que todas as medições se efectuem nas mesmas condições, mantendo a amplitude e frequência constantes. Esta simulação contribuiu para uma melhor análise do funcionamento do circuito na fase de testes em bancada e no procedimento experimental para obtenção da curva característica do sistema de medida de condutividade, permitindo a comparação dos resultados obtidos.

## II.4. Medição de temperatura

A medição de temperatura é realizada utilizando um sensor de temperatura instalado na célula de medição de condutividade em conjunto com o circuito electrónico condicionador da Figura II.10 [9, 13, 14], que tem como objectivo converter a variação de temperatura de 5 °C a 25 °C, através do sensor de temperatura “ $R_{sensor}$ ” (sensor com coeficiente de temperatura negativo), correspondentemente numa tensão de saída normalizada de 5 V a 1 V. O circuito desenvolvido dadas as suas características consegue respeitar o critério definido de obter um sistema de medição de baixo custo e ao mesmo tempo satisfazer tecnicamente as expectativas relativas ao seu desempenho nomeadamente ao nível da exactidão.

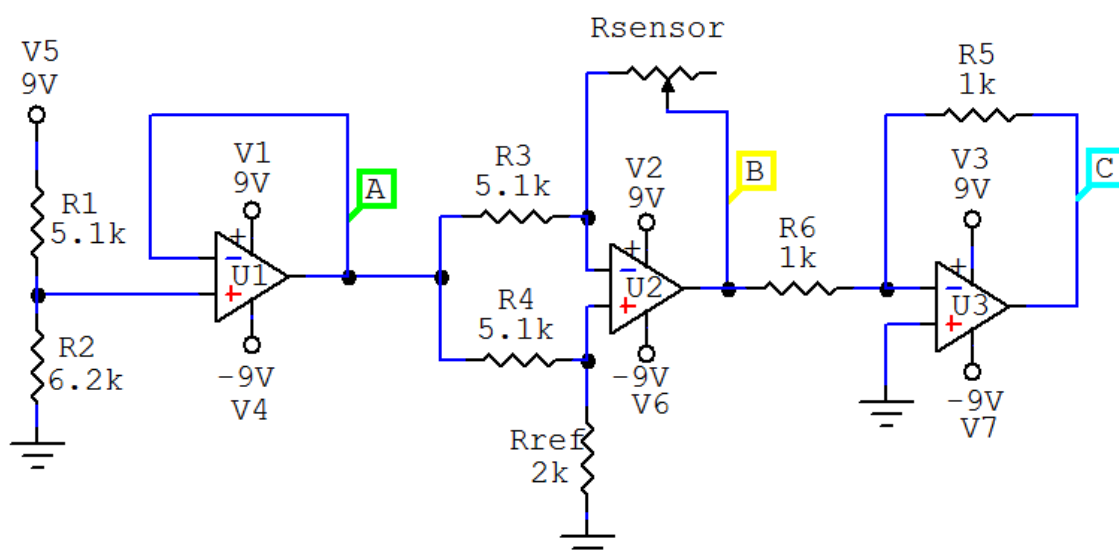


Figura II.10 - Esquema do circuito condicionador de temperatura

### Lista de componentes:

- 3 – Resistência de 5,1 K $\Omega$  / ½ W
- 1 – Resistência de 6,2 K $\Omega$  / ¼ W
- 2 – Resistência de 1 K $\Omega$  / ¼ W
- 1 – Resistência de 2 K $\Omega$  / ¼ W
- 3 – C.I. amplificador operacional LF356

O circuito condicionador tem como base da sua constituição o uso de algumas etapas de montagens comuns efectuadas com circuitos amplificadores operacionais. Desta forma na entrada da primeira etapa do circuito  $U_1$  encontra-se um divisor de tensão associado a um seguidor de tensão (buffer), cuja tensão de saída é imposta a um amplificador em ponte implementado em torno de  $U_2$ , seguido de um circuito amplificador inversor de tensão de ganho -1, montado em torno de  $U_3$ . Na primeira etapa, a tensão de alimentação  $V_5$  é dividida segundo o divisor de tensão constituído por  $R_1$  e  $R_2$  (de acordo com a expressão 2.10), associado ao seguidor de tensão construído em torno de  $U_1$  que garante na sua saída uma tensão estável igual ao valor de entrada isolando desta forma a impedância de saída da primeira etapa do circuito com a impedância de entrada da segunda etapa.

$$V_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_5 \quad (2.10)$$

Esta tensão é a chamada “tensão de excitação” do amplificador em ponte que corresponde à segunda etapa  $U_2$ , onde a variação de resistência do sensor de temperatura “ $R_{sensor}$ ” (Figura II.6) na malha de realimentação negativa de  $U_2$  provoca a variação da sua tensão de saída segundo a equação seguinte:

$$V_{02} = -\frac{R_{sensor}}{R_3 + R_{ref}} V_{R_2} \quad (2.11)$$

De forma a obter na saída do circuito condicionador uma variação de tensão positiva em função da temperatura foi necessário recorrer a uma montagem amplificadora inversora de ganho -1, montada em torno de  $U_3$ . De acordo com o esquema da Figura II.6, a sua tensão de saída é dada pela seguinte expressão:

$$V_{03} = -\frac{R_5}{R_3} V_{02} \quad (2.12)$$

A tensão de saída de valor normalizado entre 5 V e 1 V encontra-se desta forma em condições de ser aplicada no sistema de aquisição DAQ. A placa de circuito impresso construída para o circuito condicionador de temperatura é comum ao circuito de condicionamento de

condutividade e encontra-se representada na Figura II.11. É possível observar neste ponto que a flexibilidade do sistema de medida para o acréscimo de outras variáveis físicas associadas à medição da qualidade da água, está dependente e necessita de ter em atenção o desenho da placa de circuito impresso e a montagem dos componentes electrónicos de forma a respeitar o espaço físico livre no interior da caixa do módulo de condicionamento electrónico de forma a ser possível efectuar a sua instalação, fixação e ligações eléctricas. Desta forma a presente situação de desenho e integração de dois circuitos condicionadores diferentes na mesma PCI vai ao encontro da gestão e poupança de espaço disponível por forma a enriquecer as potencialidades de medição do presente sistema.

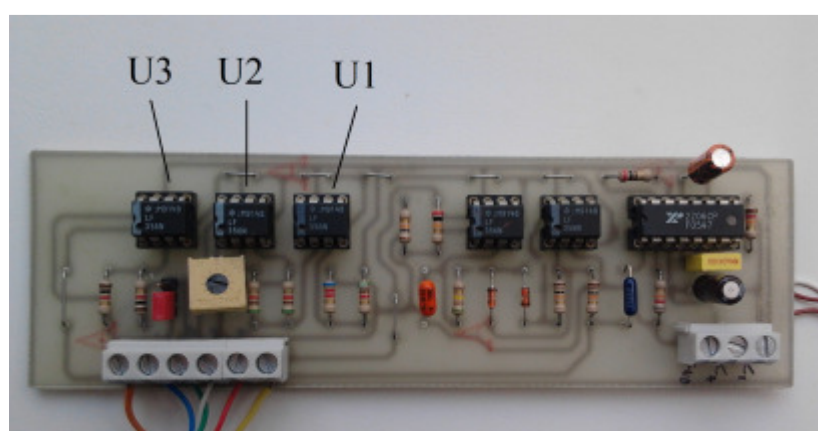


Figura II.11 - PCI com os circuitos condicionadores de temperatura e de condutividade



## II.5. Fonte de alimentação de tensão simétrica

Para efectuar a alimentação dos circuitos electrónicos, foi necessário construir uma fonte de tensão simétrica de  $\pm 9\text{ V}$ , com possibilidade de ser alimentada pela rede eléctrica (230 V AC) ou com baterias de forma a tornar o sistema de medida portátil e ser facilmente possível efectuar medições em lugares remotos. O circuito da fonte de tensão é um circuito típico de rectificação de onda completa com reguladores de tensão. Quando conectado à rede eléctrica é fornecida a alimentação ao circuito proveniente do transformador de ponto médio  $T_1$  (Figura II.12), a qual é aplicada na ponte de díodos  $D_1$  onde é efectuada a rectificação de onda completa. Em seguida é feita a filtragem através dos condensadores  $C_1$  e  $C_2$  e a regulação de tensão positiva e negativa correspondentemente pelos reguladores de tensão 7809 [16] e 7909 [17]. Estes possuem a vantagem de colocar na sua saída uma tensão bastante precisa e estável com uma corrente máxima de 1 A, a qual é suficiente para alimentar os circuitos electrónicos que possuem um consumo de aproximadamente 300 mA. Através dos condensadores  $C_3$  e  $C_4$  é efectuada uma última etapa de filtragem, que tem como função eliminar alguma *tensão de Ripple*, que ainda possa existir e manter estável a tensão de saída.

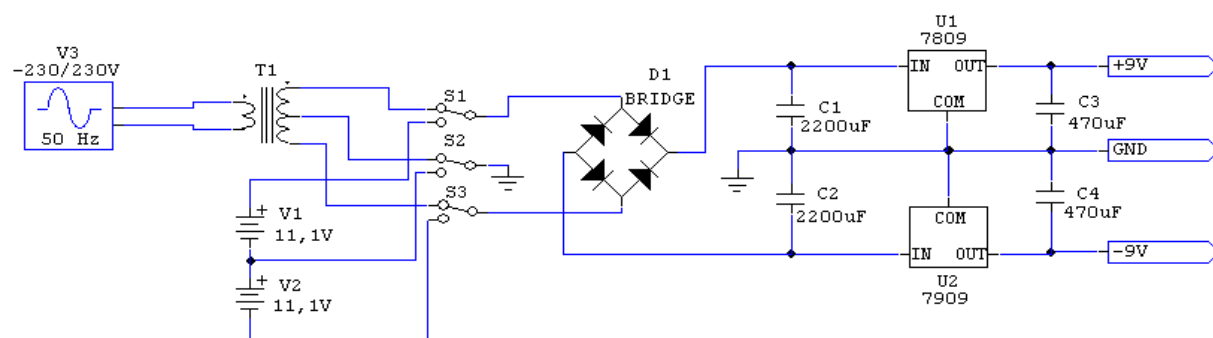


Figura II.12 - Esquema da fonte de alimentação do circuito

### Lista de componentes electrónicos:

- 1 – Transformador com ponto médio 12x2 (1 A)
- 2 – Baterias de lítio 11,1V 1300 mAh
- 1 – Comutador rotativo 3 posições
- 1 – Ponte rectificadora de díodos 1,5 A
- 2 – Condensador electrolítico 2200 $\mu$ F / 63V
- 2 – Condensador electrolítico 470 $\mu$ F / 63V
- 1 – Regulador de tensão positiva 7809 / 1,5 A
- 1 – Regulador de tensão negativa 7909 / 1,5 A

Como alternativa à alimentação fornecida pela rede eléctrica, pode seleccionar-se através do comutador a alimentação do circuito através de baterias de lítio de 11,1 V (1300 mAh). Neste caso, a tensão por estas fornecida é aplicada na entrada do circuito que efectua a regulação da sua tensão para os valores de saída pretendidos sem haver a necessidade de efectuar a rectificação de onda completa. É importante notar que o valor de tensão fornecido pelas baterias que garante o correcto funcionamento dos circuitos alimentados, não deve ser inferior ao valor da tensão de saída pretendida mais a soma do valor da queda de tensão provocada pela ponte rectificadora. Desta forma é possível obter a tensão de alimentação simétrica necessária no projecto a qual é fundamental devido à utilização de circuitos amplificadores operacionais.

## **II.6. Conclusões**

Conclui-se neste capítulo que a medição de condutividade de uma solução aquosa pode ser efectuada através da medição da resistividade eléctrica, que está dependente da quantidade de iões presentes na solução. Para esse efeito utiliza-se um sensor de dois eléctrodos e um circuito electrónico condicionador que aplica na solução um sinal de tensão alternada sinusoidal de forma a evitar fenómenos de polarização. Esta tensão é dividida nos terminais dos eléctrodos e condicionada para a obter uma tensão contínua na sua saída. A medição da condutividade através deste método sofre a influência da temperatura sendo então necessário efectuar a sua compensação para a evitar erros significativos. De forma a poder efectuar medições remotas, foi desenvolvida como alternativa à alimentação da rede eléctrica, a alimentação do sistema a partir de baterias tornando-o assim autónomo por várias horas.

# Capítulo III

## Medição da Turbidez

Neste capítulo é feita uma descrição da teoria da turbidez e da sua aplicação. A turbidez está relacionada com a transparência ou lucidez que a água apresenta podendo esta natural ou provocada pela acção do Homem. A sua medição revela-se importante em diversas aplicações ambientais para monitorização num em rios e lagos ou então em aplicações industriais como o caso da indústria cervejeira, de bebidas, em estações de tratamento de águas residuais ou sistemas produtivos de aquacultura. A constituição do sistema de medida de turbidez desenvolvido é aqui explicada assim como o funcionamento do seu circuito condicionador, o qual necessita de controlo externo. O princípio de medida utilizado assenta na interferência óptica ou absorção da luz por parte das partículas em suspensão na água quando esta é percorrida por um feixe de luz. A célula de medida utiliza como fonte de luz dois díodos emissores de infravermelhos e como detectores dois díodos receptores de infravermelhos que detectam a luz transmitida e a luz dispersa pelas partículas em suspensão na água.

### III.1. Teoria e Medição de Turbidez

A turbidez está relacionada com a claridade, a turvação ou ausência de transparência da água, causada pela presença de partículas em suspensão [18, 19]. Essas partículas podem ser orgânicas ou inorgânicas, sendo grande a variedade de matérias em suspensão que podem provocar a alteração das propriedades ópticas da água. A sua medida é frequentemente utilizada como indicador da quantidade de sedimentos suspensos na água, os quais podem ser indicadores de poluição ou alterações naturais provocadas pelas condições ambientais [20]. No meio ambiente aquático a acumulação de sedimentos à superfície da água numa proporção excessiva pode ter consequências graves no ecossistema, uma vez que impede a penetração dos raios luminosos na água e prejudica a fotossíntese. Este facto que não permite às algas marinhas receber a luz solar, diminui o seu desenvolvimento e prejudica também os organismos aquáticos e seres que delas dependem [21]. A acumulação excessiva de partículas orgânicas em suspensão também pode ter consequências muito graves, visto que diminui a quantidade de oxigénio presente na água e acaba por matar as espécies de peixes aí presentes. A sua medição é também utilizada e importante nomeadamente na monitorização da qualidade da água na descarga de filtros em estações de tratamento de águas residuais (ETARs). A medida de turbidez não sofre a influência da temperatura. A turbidez não é considerada uma grandeza física, por este motivo não pode ser medida através de uma propriedade específica do fluido ou das matérias que nele se encontram suspensas, o que faz com que a sua medida tenha de ser realizada por comparação com padrões definidos por normas técnicas internacionais que se diferenciam na aplicação que se pretende. As suas unidades podem exprimir-se normalmente em NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez associadas ao método utilizado baseado na medição de luz a 90°), FTU (Unidades Nefelométricas de Formazina [22], onde são utilizadas soluções padrão de formazina segundo o método óptico anterior) ou também através de uma escala equivalente de quantidade de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em suspensão por unidade de volume (mg/l). Existem várias técnicas para a sua medição, onde uma delas é o “*Disco de Secchi*” (Figura III.1).

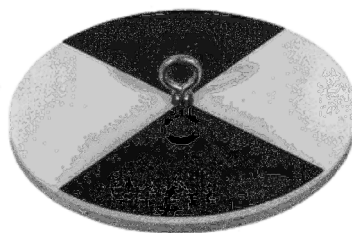


Figura III.1 - Disco de Secchi (extraído de [18])

Esta técnica consiste em mergulhar na água um disco com cerca de 20 cm de diâmetro pintado de preto e branco preso por uma corda graduada em intervalos de 10 cm, até ao momento em que este deixa de ser visível a olho nu. Por norma uma boa qualidade da água é indicada pela medição de uma coluna de água menor que 40 cm. O objectivo é medir a profundidade em que esse momento ocorre, o que faz com que este seja um método de medida muito subjectivo porque depende da visão do observador e das condições de luminosidade. Outra variante do Disco de Secchi é o Tubo de Turbidez (Figura III.2) que consiste no mesmo princípio, mas desta vez utiliza-se um tubo graduado e coloca-se o disco no fundo do mesmo. Para obter a medida enche-se o tubo de água até ao momento em que o disco deixa de ser visível. De seguida mede-se a altura da coluna de água desde a superfície do líquido até ao fundo, sendo necessário que o observador se encontre correctamente posicionado para efectuar a observação do cimo do tubo no momento em que o disco deixa de ser visível. Esta é também uma técnica simples mas que depende também das mesmas condições subjectivas da técnica anterior.

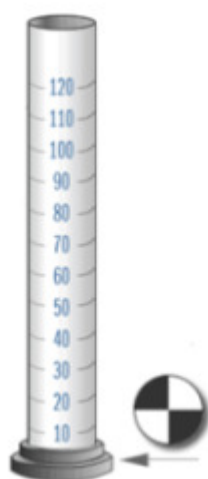


Figura III.2 - Tubo de Turbidez (extraído de [18])

Uma técnica bastante mais precisa é a que utilizamos neste projecto, a qual se baseia na atenuação ou absorção da luz por parte das partículas em suspensão na água a que se chama Método Nefelométrico [23, 24]. Para aplicação deste método são utilizadas soluções padrão nomeadamente de formazina para efectuar a calibração do sensor óptico. Quanto maior for a luz dispersa maior é a turbidez da solução. Onde a quantidade de luz transmitida e dispersa dependem do tamanho das partículas, da sua forma, composição ou índice de refração. A medição de turbidez baseada nas propriedades ópticas da água não sofre a influência da

temperatura. Neste método a medição de turbidez é realizada através de uma célula (Figura III.4) que utiliza dois díodos emissores para gerar os dois feixes de infravermelhos dispostos a 90° e dois díodos receptores para detectar a luz transmitida e a luz dispersa pelas partículas em suspensão. Esta técnica consiste em fazer com que as duas fontes emissoras de luz emitam de forma desfasada no tempo os dois feixes dispostos perpendicularmente que atravessam a amostra e sejam detectadas as suas intensidades através de dois receptores como é representado no esquema da Figura III.3.

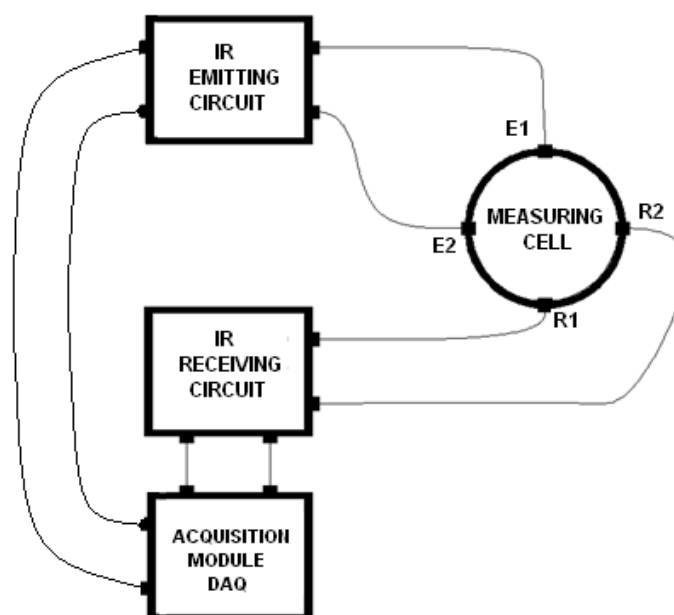


Figura III.3 - Esquema do sistema de medição de Turbidez

Quanto maior for a oposição à passagem da luz, menor é o valor da intensidade medida pelo receptor que mede a luz directamente do emissor que se encontra activo e maior é o valor da intensidade do receptor que detecta a luz dispersa pelas partículas em suspensão. Para esse efeito é utilizada a célula de medida, representada na Figura III.4, com os dois conjuntos emissor/receptor, hermeticamente isolados e dispostos perpendicularmente (90°).

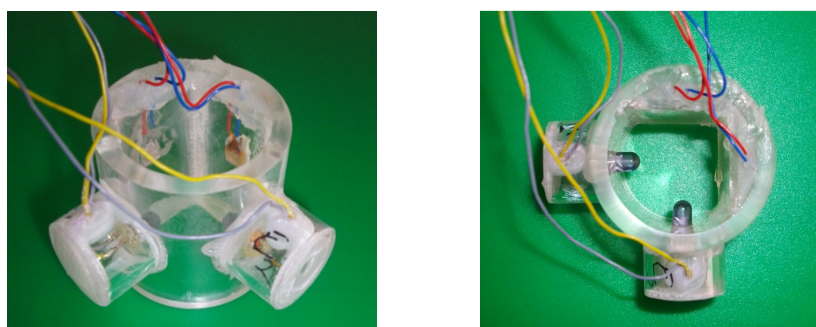


Figura III.4 - Pormenor célula de medição de turbidez

Para gerar os feixes de infravermelhos, são enviados dois impulsos desfasados no tempo em duas fases, emitidos pelo programa VI desenvolvido em software LabVIEW e aplicados a cada um dos circuitos condicionadores emissores de infravermelhos através da placa de aquisição DAQ USB-6008. Desta forma pretende-se que apenas esteja activo um feixe em cada intervalo de tempo por um período de curta duração, suficiente para permitir obter uma medida estabilizada por parte do circuito receptor. Na primeira fase quando o díodo emissor  $E_1$  está activo, a luz emitida directamente é detectada pelo díodo receptor  $R_1$  e a luz dispersa detectada pelo díodo receptor  $R_2$ . Na segunda fase quando o díodo emissor  $E_2$  se encontra activo, o díodo receptor  $R_2$  detecta a luz que lhe é directamente aplicada e por sua vez o díodo receptor  $R_1$  detecta a luz dispersa, conforme o esquema da Figura III.5.

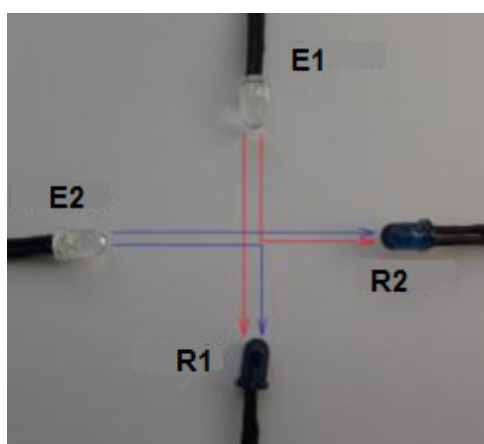


Figura III.5 - Esquema com os feixes de luz emitidos e detectados

Depois de a luz percorrer o meio aquoso e detectada pelos receptores é convertida numa tensão através do circuito condicionador para ser aplicada na entrada do módulo de aquisição que permite a sua monitorização através do software construído em LabVIEW. Este processo repete-se continuamente sempre que o programa VI estiver em execução. Os quatro valores adquiridos de luz transmitida e luz dispersa durante as duas fases têm como finalidade serem “memorizados” pelo programa e utilizados para efectuar o cálculo da turbidez.

### III.2. Circuito condicionador de turbidez

O circuito condicionador de turbidez [9, 23, 24] é composto por dois conjuntos de circuito emissor e receptor de infravermelhos. A primeira parte correspondente ao circuito emissor, que tem a função de emitir o feixe de infravermelhos que atravessa a solução a medir, a qual é constituída por um circuito amplificador de corrente. Este recebe na sua entrada (A) um sinal digital em tensão temporizado, gerado pelo programa VI construído em software, através da placa de aquisição NI USB-6008 de acordo com o esquema representado na Figura III.6. Desta forma quando o sinal digital se encontra activo durante o período de tempo programado, a saída do amplificador operacional  $U_6$ , satura positivamente fazendo com que o transístor  $Q_1$  [25], entre em condução e permita a passagem de corrente através do díodo emissor de infravermelhos  $D_1$ , gerando desta forma o feixe de luz pretendido. Quando na entrada do circuito amplificador de corrente se detecta que o sinal digital gerado através da placa de aquisição se encontra inactivo devido à conclusão da temporização, a saída do amplificador satura negativamente fazendo com que o transístor se encontre ao corte eliminando a passagem de corrente através do díodo emissor de infravermelhos e consequentemente finalizando a emissão do feixe de luz. Através da resistência  $R_2$ , é possível efectuar uma calibração alterando o seu valor para determinar o valor da corrente que atravessa o díodo e desta forma a intensidade do feixe de infravermelhos, que será detectada pelo circuito receptor.

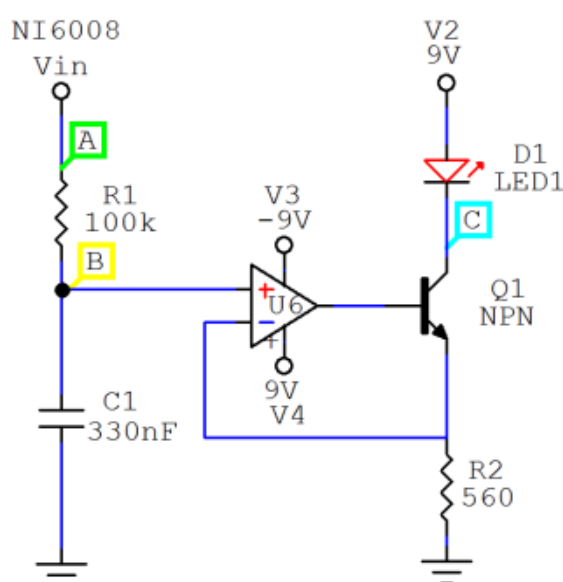


Figura III.6 - Circuito condicionador de turbidez emissor de infravermelhos



### **Lista de componentes:**

- 1 – Resistência de  $100\text{ K}\Omega$  /  $\frac{1}{4}\text{ W}$
- 1 – Resistência de  $560\text{ }\Omega$  /  $\frac{1}{4}\text{ W}$
- 1 – Condensador de poliéster  $330\text{ nF}$
- 1 – C.I. amplificador operacional LF356
- 1 – LED emissor de infravermelhos  $5\text{ mm}$
- 1 – Transístor BD 137 / NPN

A segunda parte à qual corresponde o circuito receptor, encontra-se representada na Figura III.7. Esta é constituída pelo díodo receptor de infravermelhos  $D_2$ , em série com a resistência  $R_1$ . A tensão aplicada na entrada do circuito seguidor de tensão construído em torno de  $U_7$  é directamente proporcional à intensidade de luz detectada pelo díodo receptor de infravermelhos  $D_2$ . A tensão de saída (A) do circuito é aplicada numa das entradas analógicas da placa de aquisição de forma a ser processada em software ser efectuado o cálculo de turbidez. Para efectuar este cálculo é necessário fazer a aquisição das medidas da tensão de saída dos dois circuitos receptores, quando a célula de medida se encontra imersa na solução a medir.

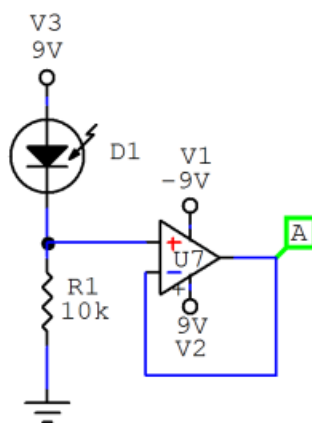


Figura III.7 - Circuito condicionador de turbidez receptor de IV

### **Lista de componentes:**

- 1 – Resistência de  $10\text{ K}\Omega$  /  $\frac{1}{4}\text{ W}$
- 1 – C.I. amplificador operacional LF356
- 1 – LED receptor de infravermelhos  $5\text{ mm}$
- 1 – Transístor BD 137 / NPN

Para efectuar a medição de turbidez no projecto desenvolvido, é necessário recorrer ao cálculo do coeficiente  $C_m$ , sendo este determinado através das tensões detectadas pelos receptores de luz memorizados nas duas fases de emissão dos feixes de infravermelhos, segundo a expressão seguinte:

$$C_m = \pm \sqrt{\frac{V_{21}}{V_{11}} \cdot \frac{V_{12}}{V_{22}}} \quad (3.1)$$

Para obter o coeficiente  $C_m$ , em primeiro lugar é necessário registar as medições de  $V_{11}$ , a qual é a tensão de saída do circuito receptor 1 com o primeiro feixe activo e  $V_{12}$  a que corresponde a tensão de saída do circuito receptor 2 com o primeiro feixe activo. Em seguida são registadas as tensões  $V_{21}$ , a qual define a tensão de saída do primeiro circuito receptor com o segundo feixe activo e  $V_{22}$ , que indica a tensão de saída do segundo circuito activo com o segundo feixe activo. Após as medidas serem convertidas pelos respectivos circuitos condicionadores são aplicadas nas entradas analógicas da placa de aquisição e efectua-se o cálculo do coeficiente  $C_m$  aplicando a expressão (3.1). Uma vez obtido o coeficiente anterior pode-se proceder ao cálculo da turbidez de acordo com a seguinte expressão:

$$TU = \alpha_0 \cdot C_m + \alpha_1 \quad (3.2)$$

Onde os coeficientes  $\alpha_0$  e  $\alpha_1$  são resultantes da calibração do sensor. Esta calibração consiste em obter experimentalmente a curva característica do sistema que define matematicamente a resposta do sensor. Esta é determinada através de um conjunto de soluções padrão de formazina de valor conhecido, onde para cada uma se determina um coeficiente  $C_{m_x}$  através das tensões medidas pelo sensor para cada solução. Desta forma é possível perceber que a exactidão do sistema de medição está dependente em grande parte do rigor da calibração efectuada e da qualidade dos padrões utilizados. Após ter em atenção os aspectos referidos anteriormente tentando assim obter os valores fornecidos pelo sensor como menor erro possível através de uma calibração cuidada, é possível obter a equação (3.2) através de uma regressão linear dos valores dos coeficientes obtidos, que terá como variável o coeficiente  $C_m$  da solução que estiver a ser medida pelo sensor após a calibração. As unidades de turbidez são apresentadas em NTU. A placa de circuito impresso deste circuito de condicionamento foi desenhada e construída para conter de uma forma comum os dois circuitos emissor/receptor, tendo em consideração o uso de componentes adequados e

economicamente acessíveis e que o resultado final pode ser observado na Figura III.8. Este circuito à semelhança de todos os que constituem o projecto foram instalados no interior do Módulo de Condicionamento para tornar o equipamento portátil, facilitando desta forma a realização de medições em locais remotos.

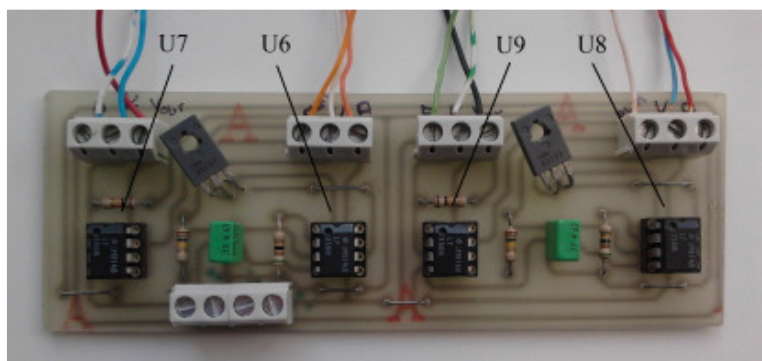


Figura III.8 - Circuito condicionador de turbidez emissor e receptor de infravermelhos

Depois de montar os três elementos sensores na estrutura do Sensor Multiparamétrico e instalar os correspondentes circuitos condicionadores no Módulo de Condicionamento que é também constituído pelo módulo de aquisição DAQ NI USB-6008 e pela fonte de alimentação, o sistema representado na Figura III.8 ficou pronto sendo então necessário desenvolver software através da construção do programa VI em LabVIEW.



Figura III.9 - Pormenor do Sensor Multiparamétrico e do Módulo Condicionador

### **III.3. Conclusões**

Conclui-se neste capítulo que a medição de turbidez tem bastantes aplicações laboratoriais e industriais sendo a sua medição particularmente importante na monitorização de sistemas ambientais onde as espécies existentes podem ser afectadas pela diminuição da luz recebida pela flora marinha. Apesar de existirem várias técnicas para a sua medição, o método desenvolvido baseado na interferência óptica da luz nas partículas em suspensão na água é o mais recentemente desenvolvido e o que apresenta melhor exactidão por ser um método baseado em critérios objectivos definidos por normas internacionais para além de permitir uma monitorização contínua desta variável.

# Capítulo IV

## Procedimento Experimental

Neste capítulo é feita a descrição do procedimento experimental e métodos utilizados para o teste dos circuitos condicionadores. Os métodos adoptados consistiram na utilização de instrumentos padrão para a calibração e determinação da curva característica de cada sistema de medida. Para o sistema de medição de condutividade foi utilizado um condutivímetro comercial com compensação de temperatura automática e indicação de temperatura da solução que se pretende medir. No caso da variável de temperatura utilizou-se uma estufa com controlo de temperatura, como fonte térmica e um termómetro padrão comercial de alta precisão. Na calibração do sistema de medição de turbidez foi utilizado um conjunto de soluções padrão à base de formazina preparadas em laboratório. Para cada uma das variáveis envolvidas a caracterização matemática da resposta de saída de cada sistema com a maior exactidão possível é essencial para permitir o seu processamento e indicação no ambiente virtual descrito no Capítulo V.

## IV.1. Procedimento experimental - Condutividade

Para teste e estudo experimental do sistema de medição de condutividade procedeu-se à caracterização da resposta do circuito condicionador, utilizando um condutímetro comercial [26] como instrumento padrão. O método utilizado consistiu em comparar as medidas fornecidas pelo equipamento padrão com os valores obtidos pelo sistema desenvolvido. Para esse efeito iniciou-se o procedimento experimental com uma solução de água destilada com um valor de condutividade de  $1 \mu\text{S/cm}$ , com que se efectuou a primeira medição. Em seguida adicionou-se água salgada recolhida do oceano para aumentar um pouco mais a sua condutividade e efectuou-se a segunda medição após ocorrer a estabilização da nova concentração. A quantidade de água do oceano adicionada não tem a necessidade de ser conhecida, uma vez que a medida do condutímetro é considerada padrão. Este processo foi repetido tantas vezes quanto o número de medições efectuadas de forma a obter a característica do sinal de saída do circuito condicionador em função da condutividade. É importante notar que o registo de valores segundo este método foi efectuado com compensação de temperatura fornecida automaticamente pelo instrumento padrão de medição de condutividade. Na Figura IV.1, é possível observar a resposta obtida.

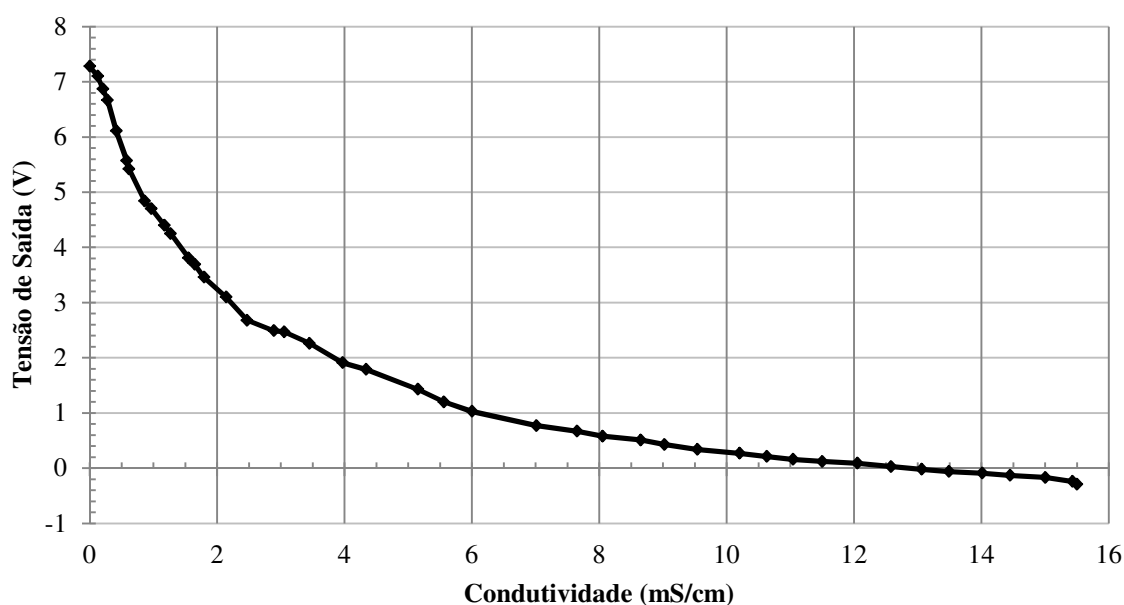


Figura IV.1 - Gráfico de tensão de saída do circuito condicionador em função da condutividade com compensação de temperatura referenciada a  $25^{\circ}\text{C}$

Como se pode observar na figura anterior, a resposta obtida tem um comportamento não linear como seria esperado, devido ao facto do condicionamento da medição da condutividade se efectuar inicialmente através do divisor de tensão na da Figura II.5, constituído pela resistência  $R_I$  e pela resistência da solução  $R_{sensor}$ . Desta forma é possível notar que a resposta do sistema apresenta maior sensibilidade para valores mais baixos de condutividade, os quais são usuais em locais de existência de água doce e menor sensibilidade para valores mais altos, que são típicos em estuários de rios ou oceanos. De forma a obter a curva característica do circuito e de a implementar no software de monitorização, em seguida foi necessário obter a sua função inversa e efectuar uma regressão polinomial de grau cinco (Figura IV.2), através da qual se obtém o valor de condutividade em função da tensão medida.

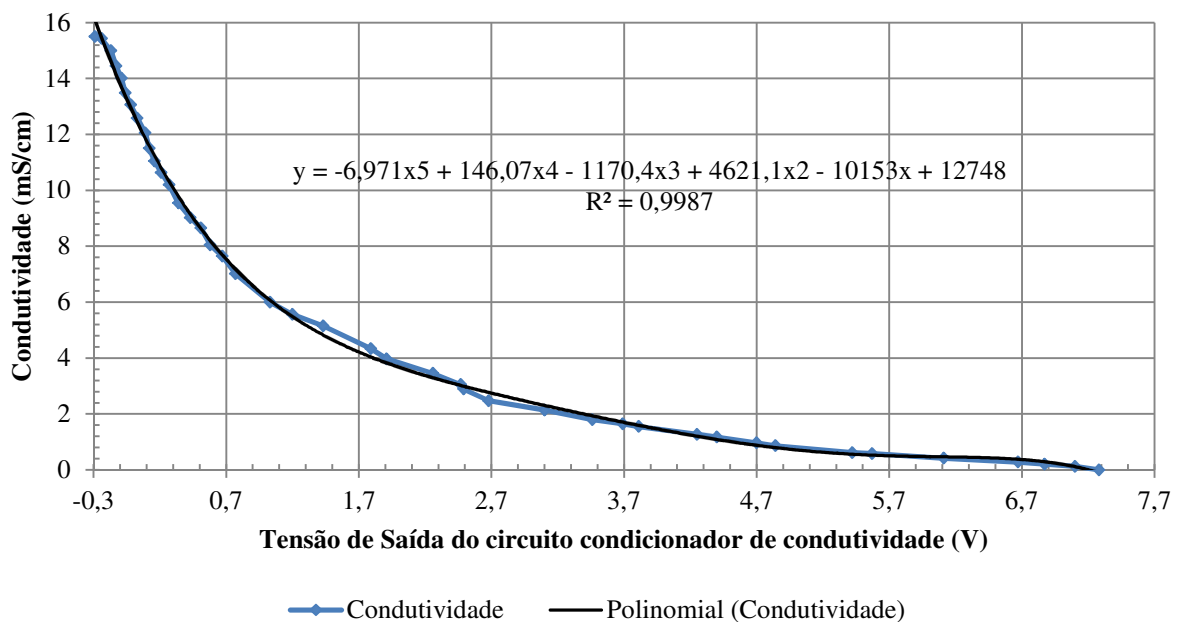


Figura IV.2 - Curva característica do sistema de medição de condutividade

A expressão obtida (4.1) pode considerar-se uma boa aproximação da resposta real do sistema, dado que o seu coeficiente de determinação é muito próximo do valor unitário. Desta forma, a expressão toma a seguinte forma em função da tensão de saída do circuito condicionador de condutividade.

$$C = -6,971V_0^5 + 146,07V_0^4 - 1170,4V_0^3 + 4621,1V_0^2 - 10153V_0 + 12748 \quad (4.1)$$

## IV.2. Procedimento experimental – Temperatura

Para efectuar o teste do circuito condicionador de temperatura, efectuaram-se várias simulações de forma a conhecer os valores de resistência (Figura IV.3) gerada pelo sensor de temperatura e os valores de tensão de saída do circuito condicionador (Figura IV.4). Através da utilização em laboratório de uma estufa com controlo de temperatura [27], foram simulados cinco pontos de calibração, registados com um termómetro digital de precisão [28], através do qual foi possível obter a seguinte resposta, que traduz o comportamento da variação da resistência eléctrica em função da temperatura.

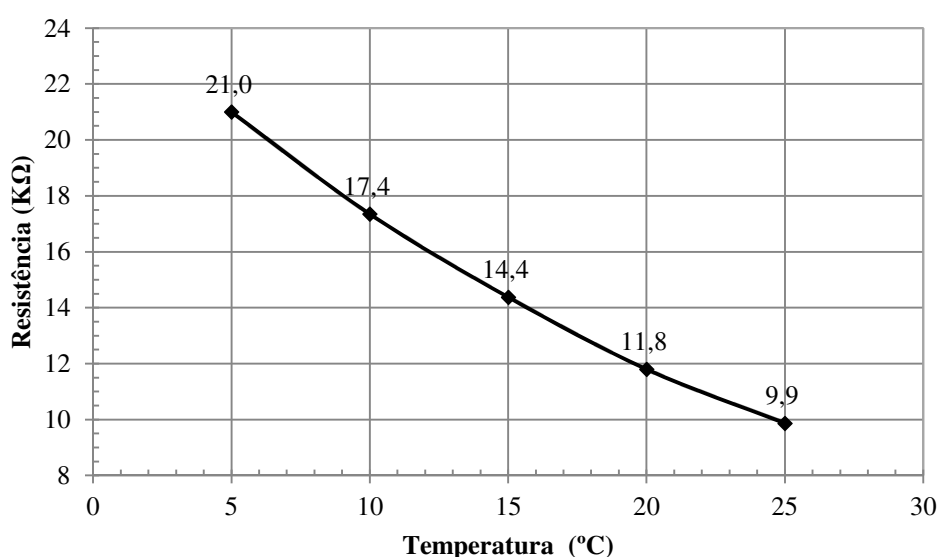


Figura IV.3 - Gráfico de variação de resistência eléctrica em função da temperatura

É possível observar graficamente que o sensor apresenta uma variação de resistência eléctrica inversa à variação de temperatura, a qual é praticamente linear, o que corresponde ao esperado teoricamente sabendo que é um sensor resistivo NTC, o qual possui um coeficiente de temperatura negativo. Para determinação do conjunto sensor de temperatura e o correspondente circuito condicionador electrónico, em seguida foi efectuada a simulação para obtenção dos valores da tensão de saída do circuito electrónico condicionador em função da temperatura representados na Figura IV.4.



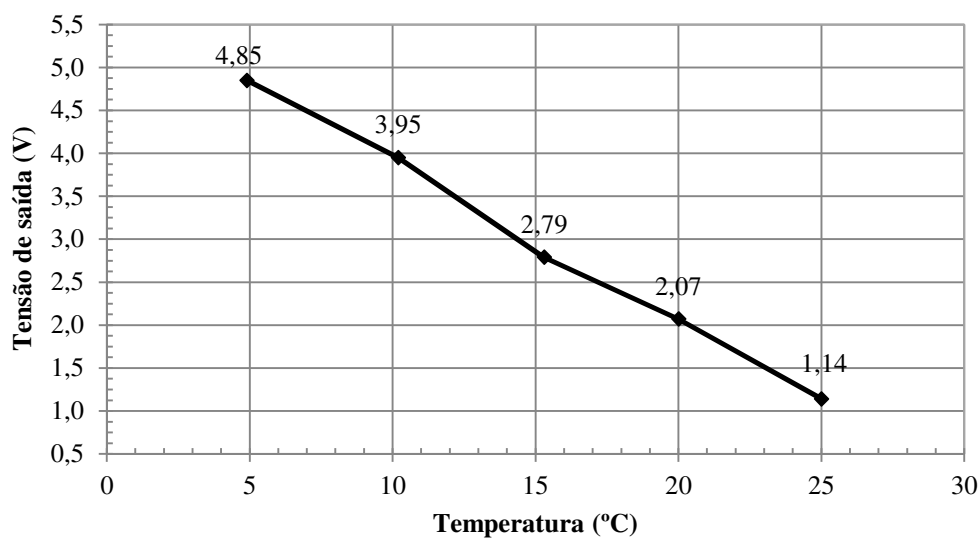


Figura IV.4 - Gráfico de tensão de saída em função da temperatura

Para obter a expressão que caracteriza a resposta do sistema de medição de temperatura, foi necessário obter a sua função inversa e efectuar uma regressão linear de acordo com a Figura IV.5. Desta forma a expressão resultante permite conhecer o valor da temperatura através da sua indicação sendo para isso necessário obter uma tensão de saída do circuito condicionador que apresente uma boa repetibilidade.

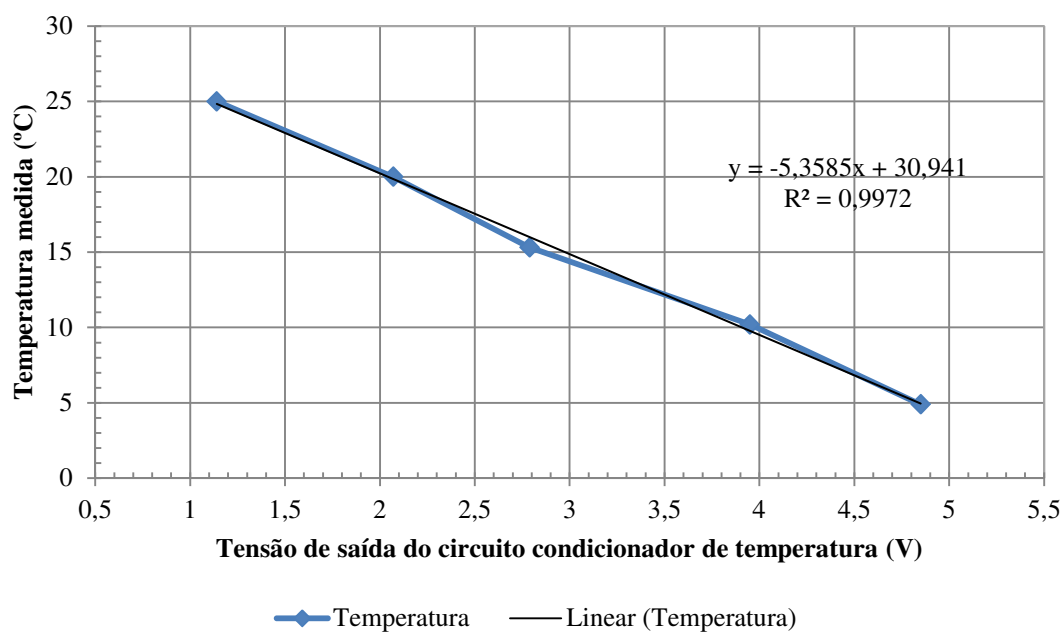


Figura IV.5 - Gráfico da curva característica do sistema de medição de temperatura

Pode observar-se que a aproximação obtida anteriormente é bastante boa considerando que o valor do coeficiente de determinação obtido é muito próximo do valor unitário. A expressão (4.2) resultante da regressão linear efectuada é utilizada para implementar no programa construído em software LabVIEW tornando possível a indicação do valor medido em °C.

$$T = -5,3585 \cdot V_0 + 30,941 \quad (4.2)$$

### IV.3. Procedimento experimental – Turbidez

Para efectuar a caracterização da resposta do sistema de medição de turbidez foram utilizadas quatro soluções padrão de formazina (10, 100, 200 e 400 NTU), onde se mergulhou o sensor óptico até se obter a estabilização dos valores das medidas de tensão. Desta forma foram registados os valores detectados para cada situação, em primeiro lugar apenas com o feixe vertical activo e em seguida com o feixe horizontal no mesmo estado. Após a obtenção dos dados necessários procedeu-se ao cálculo do coeficiente  $C_m$  para cada solução de acordo com a expressão (3.1). Através dos quatro pontos obtidos (Figura IV.6), foi possível obter a caracterização do referido coeficiente para a gama de medida desejada de 0-400 NTU.

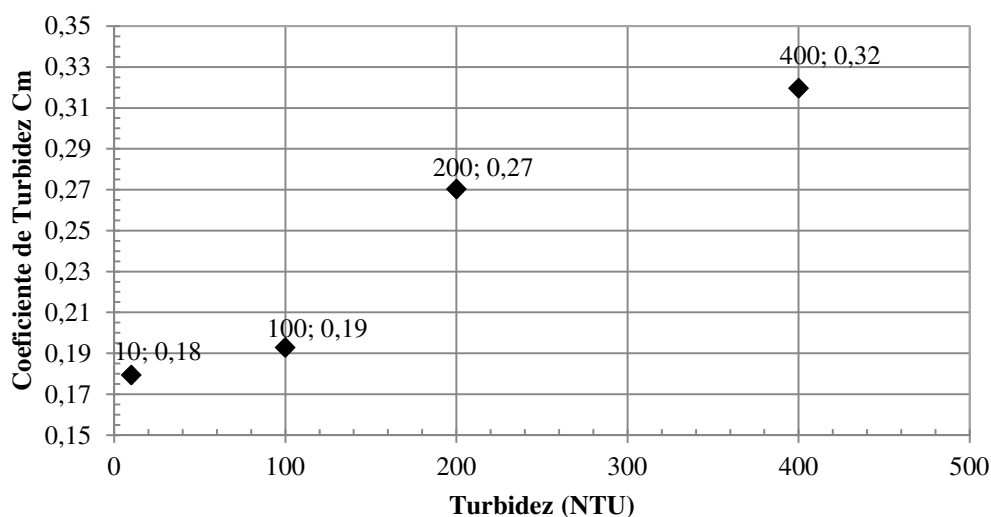


Figura IV.6 - Gráfico do coeficiente de turbidez  $C_m$  em função da turbidez

Após obtida a resposta anterior efectuou-se a sua função inversa e uma regressão linear (Figura IV.7) de forma a obter a equação (4.3), que traduz o comportamento do circuito para a gama de medição pretendida.

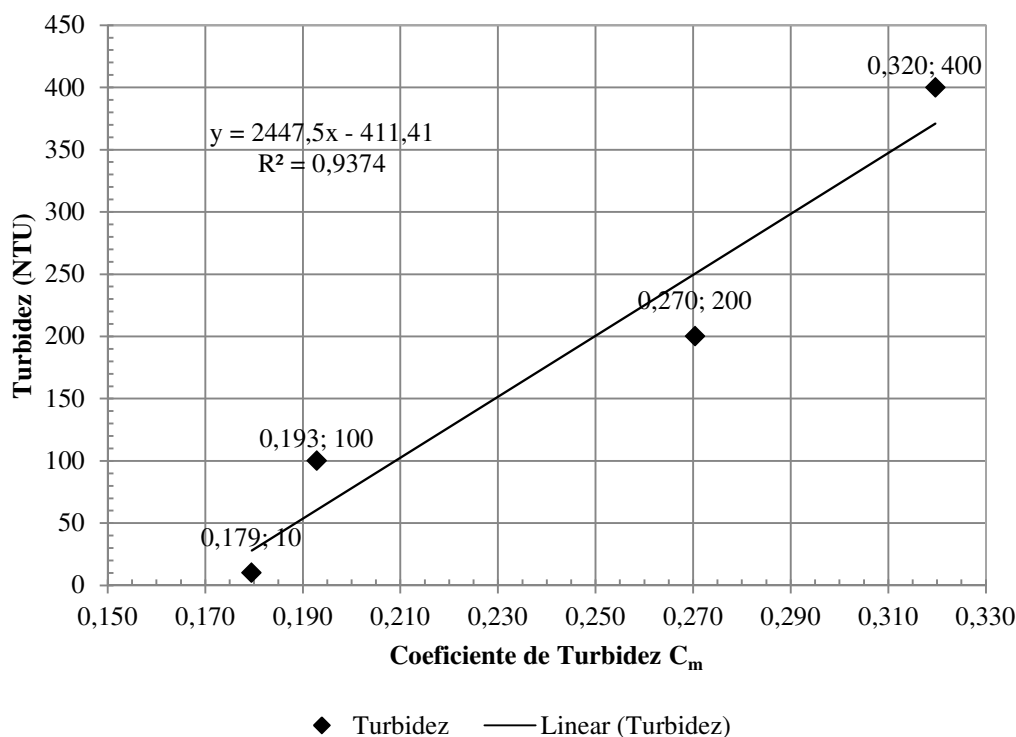


Figura IV.7 - Gráfico da curva característica do sistema de medição de turbidez

A expressão obtida (4.3) será implementada em software LabVIEW, onde para cada medida efectuada será calculado o correspondente valor de coeficiente de turbidez  $C_m$  e através deste será possível determinar o valor de turbidez através da relação dada pela expressão seguinte:

$$TU = 2447,5.C_m - 411,41 \quad (4.3)$$

É importante referir que é necessário efectuar com alguma periodicidade a calibração do sensor de forma a não obter erros significativos nas medições efectuadas. A equação característica depende do número de padrões de formazina utilizados e dos seus valores padrão que podem ser diferentes daqueles que foram utilizados e consequentemente conduzir a uma curva característica diferente daquela que foi obtida. Ao verificar-se esta situação, esse facto implicaria efectuar uma alteração ao programa VI de indicação e monitorização.

#### **IV.4. Conclusões**

Neste capítulo é possível concluir que a exactidão dos equipamentos utilizados e o rigor dos procedimentos e métodos experimentais adoptados são muito importantes na determinação das curvas características que determinam matematicamente o comportamento dos sistemas testados e que serão implementadas no programa VI. A exactidão das medições dos sistemas desenvolvidos depende em grande proporção do rigor das calibrações efectuadas e dos padrões utilizados.

# Capítulo V

## Programa de Monitorização

Neste capítulo é feita a descrição da constituição e funcionamento do programa criado em ambiente LabVIEW para monitorização das variáveis medidas. O software construído é um programa VI (Virtual Instrument) composto pelo painel frontal onde se apresentam os valores medidos e o correspondente diagrama de blocos onde são implementados a lógica e o cálculo. Esta é uma plataforma muito flexível visto ser possível alterar facilmente o programa de forma a acrescentar um maior número de variáveis e efectuar o seu processamento e indicação, estando essa quantidade dependente apenas do número de entradas e saídas analógicas e digitais da placa de aquisição utilizada, respeitando as suas características. Após a conclusão da programação foram efectuados testes de medição com o sistema que são discutidos no fim deste capítulo.

## V.1. Estrutura base da programação

A programação necessária para realizar a monitorização das variáveis medidas foi efectuada em LabVIEW recorrendo à programação por blocos, visto ser uma poderosa ferramenta utilizada para obtenção de ambientes de instrumentação virtual [29, 30]. O software WQ-VI que foi desenvolvido, utiliza seis canais onde é definida a frequência de amostragem e o número de amostras a efectuar, assim como os valores máximo e mínimo do sinal de entrada, as suas unidades e o tipo de configuração dos terminais. O primeiro canal é utilizado para aquisição da condutividade e o segundo canal é utilizado para aquisição da medida de temperatura. Os restantes canais são aplicados na medição da turbidez onde é requerido o controlo da célula de medida. Para esse efeito são utilizados dois canais para gerar os impulsos que geram os feixes de infravermelhos da célula de medida e os restantes dois canais são utilizados para adquirir os dois sinais da luz detectada. Esta fase do projecto teve a característica de ser desenvolvida em paralelo com a fase experimental de forma a poder efectuar os ajustes experimentais necessários à obtenção da curva característica de cada variável de forma a ser implementada e programada. Desta forma, construiu-se uma base para a programação, que consistiu na utilização de uma estrutura do tipo *While Loop* (Figura V.1), a qual executa ciclicamente o programa que se encontra no seu interior enquanto não é verificada a condição de paragem.



Figura V.1 - Exemplo da estrutura *While Loop*

Dentro da estrutura anterior, introduziu-se uma *Flat Sequence Structure* (Figura V.2), com sete etapas, que tem como particularidade executar a programação que se encontra no interior de cada célula de uma forma sequencial. A execução da programação é feita sequencialmente da primeira célula à esquerda até à última célula à direita da referida estrutura.

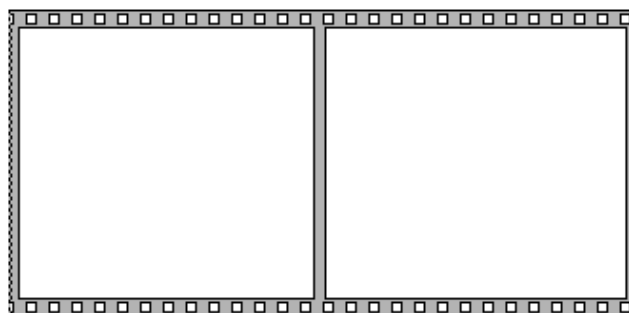


Figura V.2 - Exemplo da *Flat Sequence Structure*

As cinco primeiras células são utilizadas para efectuar a programação que permite obter a indicação da medida de turbidez. A sexta etapa é utilizada para a programação e indicação da variável de temperatura e a última etapa para a indicação da medida de condutividade com compensação de temperatura.

## V.2. Monitorização de temperatura

Após o condicionamento electrónico da medição de temperatura e do sinal de saída ser aplicado numa das entrada analógicas da placa de aquisição NI USB-6008, foi construída a programação por blocos para efectuar a indicação e monitorização da temperatura na sexta etapa da *Flat Sequence Structure*. Esta consistiu na implementação da equação obtida por regressão linear dos valores resultantes da calibração do sensor de medição de temperatura, da qual resultou a equação (5.1), onde o valor de temperatura é fornecido em °C, em função da tensão de saída do circuito electrónico condicionador de temperatura  $V_{03}$ .

$$T = -5,359 V_{03} + 30,94 \quad (5.1)$$

Dada a expressão anterior, a aquisição do sinal de tensão gerado é efectuada através do bloco *DAQ Assistant* (Figura V.3), onde são configuradas as características do canal de entrada, nomeadamente o número do canal utilizado e a frequência de amostragem. Em seguida é implementada a expressão resultante da calibração e no seu final é efectuada a média dos valores medidos. No final do programa é realizada a sua indicação numérica numa barra animada e também o seu valor no formato digital em °C no painel de instrumentos virtuais (Figura V.12).

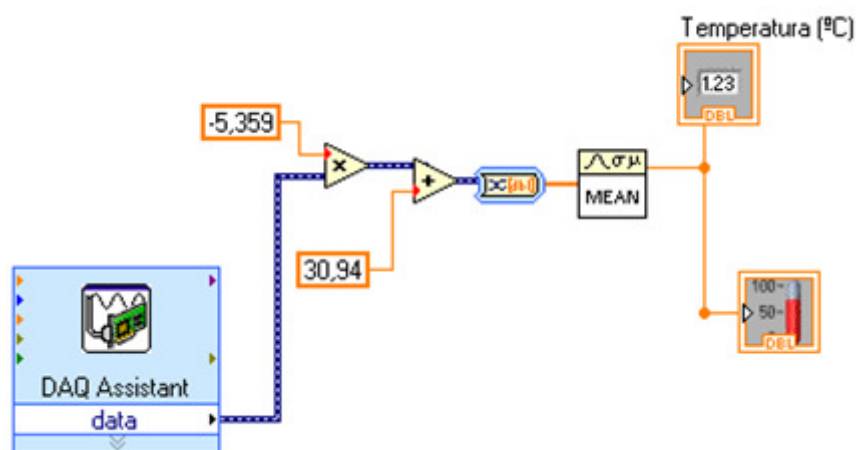


Figura V.3 - Programação do bloco de monitorização ou indicação de temperatura

O valor final para além de ser indicado é também utilizado para a compensação de temperatura na condutividade através de uma ligação da presente célula da *Flat sequence structure*, para aplicar na fórmula de compensação de temperatura que se encontra na sétima célula da mesma estrutura onde é efectuada a programação para a indicação da condutividade.

### V.3. Monitorização de Condutividade

A monitorização da condutividade é efectuada segundo um processo idêntico ao das medições de temperatura e turbidez. Devido à necessidade de caracterizar experimentalmente a resposta do sistema em função da variável medida, recorreu-se ao conjunto de medidas de condutividade fornecidas por um instrumento padrão como descrito no procedimento experimental para caracterização da resposta do circuito de medição de condutividade, onde foi efectuada uma regressão polinomial de onde se obteve o polinómio de grau cinco dado por (5.2), o qual foi o que se ajustou melhor à resposta real do sistema.

$$C = -6,971V_0^5 + 146,07V_0^4 - 1170,4V_0^3 + 4621,1V_0^2 - 10153V_0 + 12748 \quad (5.2)$$

Desta forma, para a indicação da variável referida recorreu-se à implementação da expressão obtida (5.2) em LabVIEW. Conforme a Figura V.4, através do bloco *DAQ Assistant2* é feita a aquisição da medida de condutividade fornecida em tensão pela saída do circuito condicionador. Neste bloco são efectuadas as definições do canal, que consiste em seleccionar o tipo de sinal em tensão (tal como nos restantes casos deste projecto), é efectuada a definição



do número de amostras a efectuar e a frequência de amostragem. O valor máximo e mínimo do sinal é também determinado, assim como o tipo de configuração da ligação da entrada que define se estamos na presença de uma entrada diferencial ou referenciada à terra.

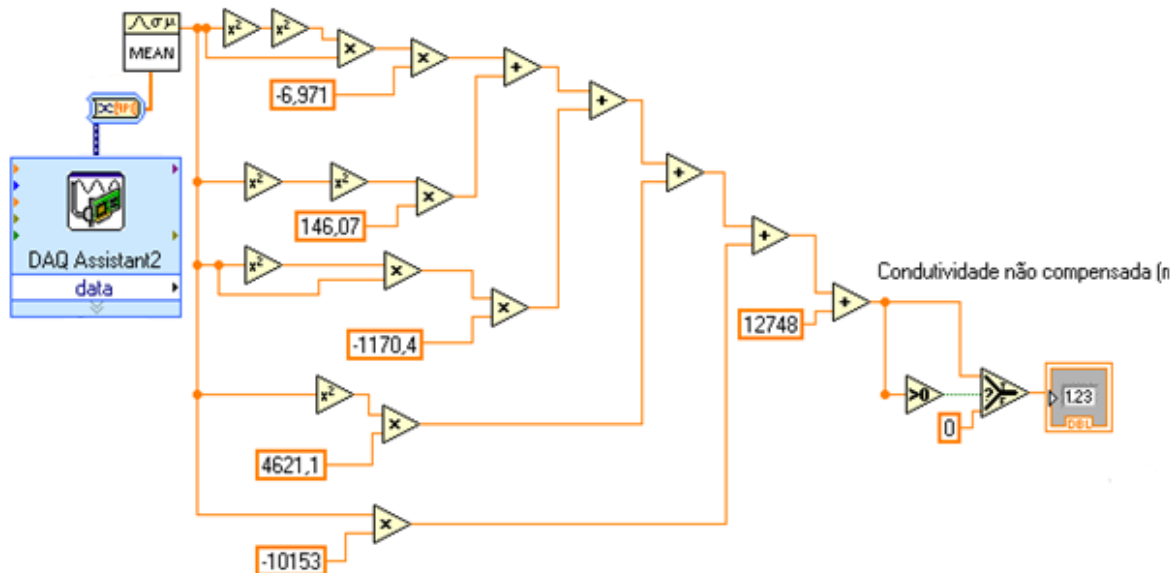


Figura V.4 - Programação do bloco de monitorização ou indicação de condutividade sem compensação de temperatura

Devido ao facto de se pretender obter a medição de condutividade com compensação de temperatura, foi necessário implementar também a expressão (2.7), na qual se considera o coeficiente de condutividade da água igual a 2 %/°C. Desta forma a referida equação foi implementada conforme representado na Figura V.5.

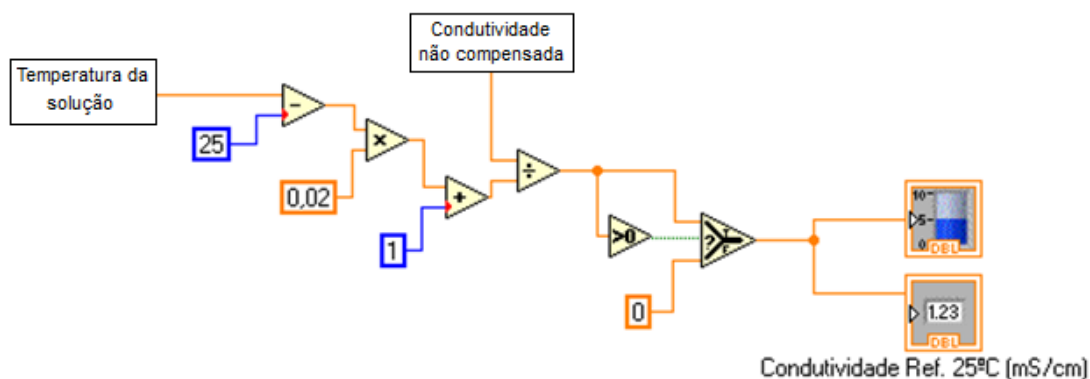


Figura V.5 - Bloco de programação de compensação de temperatura na medição de condutividade

No decorrer do desenvolvimento da programação verificou-se a existência de uma ligeira instabilidade da indicação em torno do zero sem que a célula se encontrasse imersa, desta forma para impedir que na indicação seja apresentado um valor negativo, o que não faz sentido nesta variável, introduziu-se um bloco lógico que impede esse facto de ocorrer no caso de ser detectado um valor inferior a zero. Após a compensação de temperatura, o valor da medida é indicado numericamente e também através de uma barra animada no painel de indicação da Figura V.12.

## V.4. Monitorização de Turbidez ou Turvação da Água

Para a monitorização de turbidez recorreu-se à programação das cinco primeiras etapas da *Flat Sequence Structure*, a qual executa de forma sequencial o programa contido em cada uma delas. O método utilizado consistiu em construir um programa que gere através da primeira etapa, o primeiro feixe de infravermelhos durante a temporização definida e na segunda etapa efectue a medição e registo dos valores medidos ( $V_{11}$  e  $V_{12}$ ). Na terceira etapa é utilizado o mesmo método, mas com o segundo feixe activo definido com o mesmo valor de temporização e na quarta etapa é realizada a medição e registo das medidas detectadas pelos circuitos receptores ( $V_{21}$  e  $V_{22}$ ). Após obtidas as quatro medidas, na quinta etapa é efectuado o cálculo da turbidez através da implementação da expressão (3.1). Desta forma, devido à necessidade de obter as duas medidas dos dois circuitos receptores de infravermelhos desfasadas no tempo, recorreu-se em primeiro lugar à configuração na primeira etapa do bloco *DAQ Assistant6* da Figura V.6, onde se define a utilização das duas saídas digitais que vão gerar o sinal de entrada para os circuitos emissores de infravermelhos através da placa de aquisição.

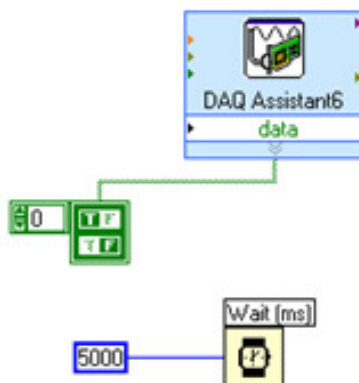


Figura V.6 - Bloco emissor do primeiro feixe de IV

Nesta situação são gerados dois sinais de saída digitais de forma que o primeiro canal se encontre no estado activo e o segundo canal no estado inactivo. Esta situação ocorre até que termine o valor definido no atraso utilizado (5 s), o qual foi definido experimentalmente devido ao facto de ser suficiente para obter a estabilização da tensão de saída dos circuitos receptores. Após a conclusão da temporização anterior, ocorre a execução do conteúdo da segunda etapa da *Flat Sequence Structure* (Figura V.7), onde se encontra programada a aquisição do sinal detectado pelo circuito receptor de infravermelhos. Esta é feita recorrendo à utilização do bloco *DAQ Assistant10*, no qual são configuradas as duas entradas analógicas que recebem os sinais provenientes das saídas dos circuitos receptores de infravermelhos, os quais são sujeitos ao cálculo da média dos valores adquiridos. Estas medidas ( $V_{I1}$  e  $V_{I2}$ ), permanecem inalteráveis até que o programa volte a executar a programação contida nesta etapa no ciclo seguinte do programa. O objectivo desta situação é manter estes valores até ser executada a quinta etapa da *Flat Sequence Structure* onde se efectua o cálculo de turbidez.

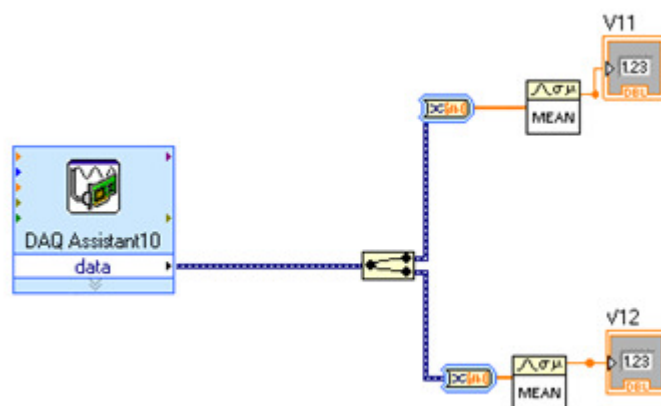


Figura V.7 - Bloco de aquisição dos sinais de saída dos circuitos receptores de infravermelhos com primeiro feixe activo

Depois de realizada a aquisição das medidas com o primeiro feixe activo segue-se a terceira etapa (Figura V.8), onde é desactivado o primeiro feixe de infravermelhos e activado o segundo que permanece activo durante a temporização definida (5 s).

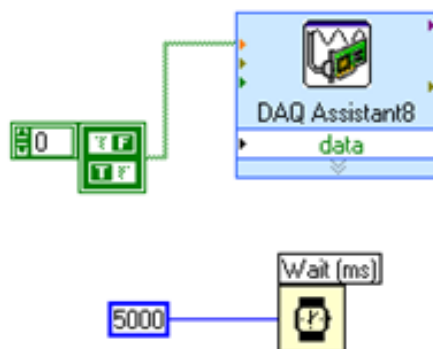


Figura V.8 - Bloco emissor do segundo feixe de IV

Quando está terminada a execução da terceira etapa de geração do segundo feixe de infravermelhos, efectua-se a medição e registo do segundo conjunto de medidas ( $V_{21}$  e  $V_{22}$ ) detectadas pelos circuitos receptores. A sua aquisição é feita através do bloco *DAQ Assistant9* na quarta etapa, onde é também realizada a média dos valores adquiridos, os quais são registados para ser efectuado o cálculo de turbidez na etapa seguinte.

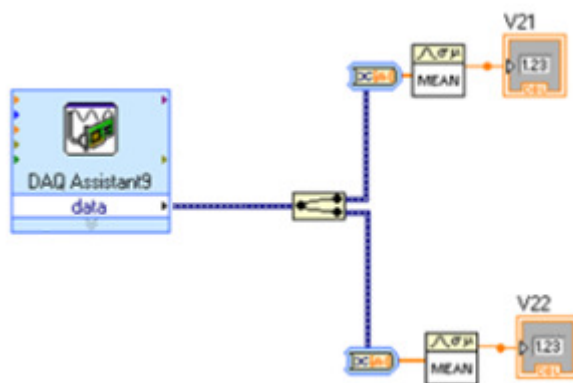


Figura V.9 - Bloco receptor do segundo feixe de IV

A decisão da realização do cálculo da média dos valores adquiridos foi tomada devido a ter sido detectada alguma instabilidade no momento da transição de estado dos díodos emissores. Desta forma com a introdução deste cálculo, essa pequena perturbação torna-se insignificante pelo que se observou experimentalmente. Após efectuada a aquisição de todas as medidas necessárias, realiza-se na quinta etapa (Figura V.10) o cálculo do coeficiente de turbidez da solução a medir segundo a expressão (3.1).

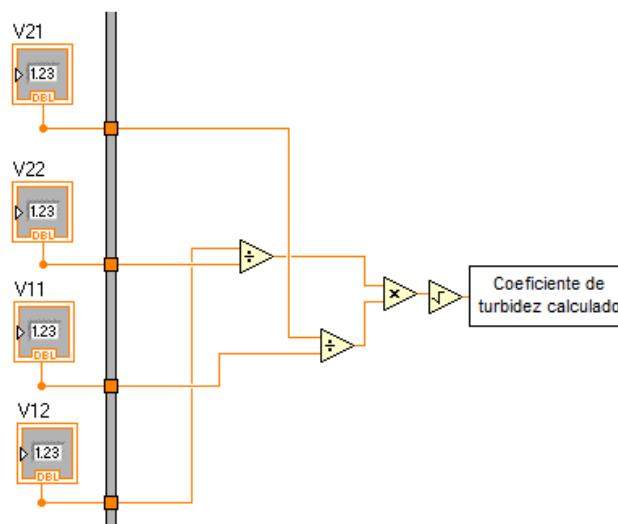


Figura V.10 - Cálculo do valor do coeficiente de Turbidez da solução

Depois de efectuado o cálculo do coeficiente de turbidez da solução a medir, é necessário aplicar esse valor na equação (4.3) obtida no procedimento experimental que caracteriza o sistema, conforme representado na Figura V.12, obtendo no final a indicação do seu valor numa escala graduada e num indicador digital.

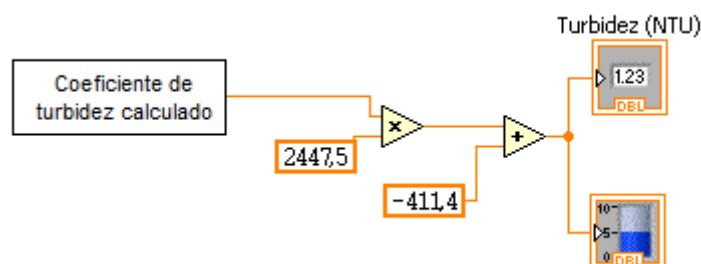


Figura V.11 - Cálculo do valor de Turbidez

O conjunto das três grandezas físicas são indicadas no painel virtual de instrumentos da Figura V.13, o qual actualiza os valores de medida cada vez que é executado o ciclo do programa. A configuração das barras animadas e dos indicadores digitais pode ser facilmente alterada ou reconfigurada consistindo esta uma vantagem em relação aos painéis de instrumentos físicos onde estas alterações são mais difíceis de realizar.

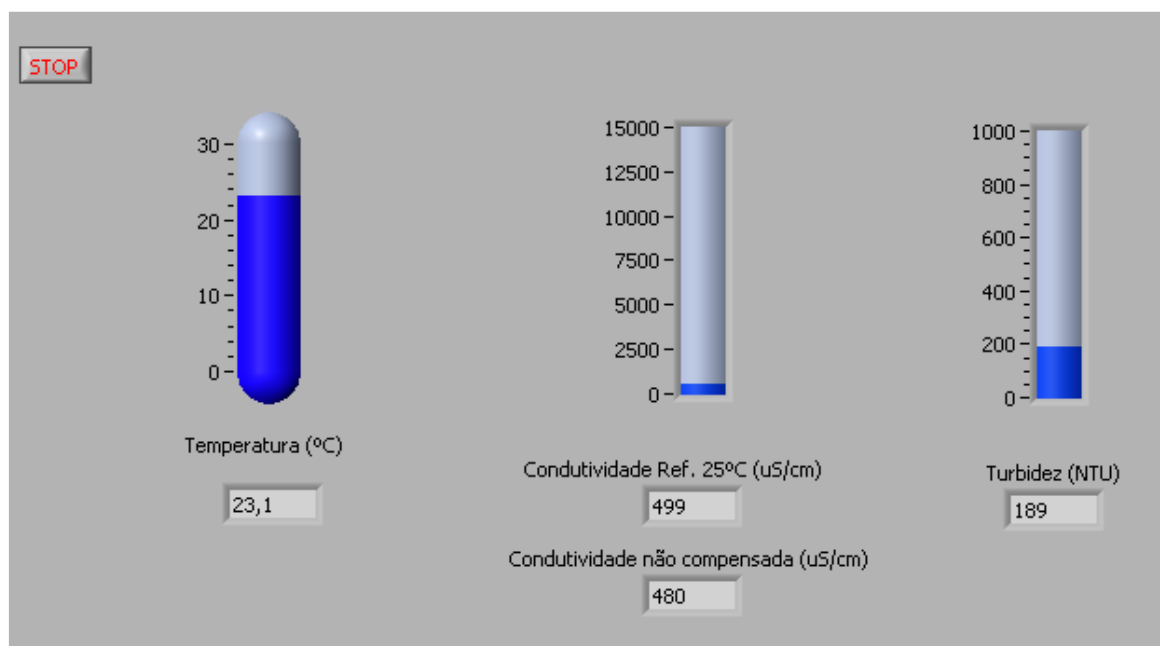


Figura V.12 - Painel virtual de instrumentos das três variáveis físicas

## V.5. Resultados experimentais

Para a obtenção de resultados finais do sistema virtual de medição dos parâmetros de qualidade da água, foram efectuados testes e medições com dos três sistemas de medição. Para os testes efectuados ao sistema de medição de condutividade com compensação de temperatura, foram utilizadas várias amostras considerando como padrão as leituras obtidas a partir do condutivímetro comercial [26]. Os valores de exactidão obtida foram de  $\pm 2$  % FE (0-15 mS/cm), e estes são apresentados na Tabela V.1.

Tabela V.1 - Resultados finais do sistema de medição de condutividade

Valor Teórico (%)	Valor Aplicado ( $\mu\text{S/cm}$ )	Valor Medido ( $\mu\text{S/cm}$ )	Erro FE <sup>a)</sup> (%)
0	0	90	1
25	3930	3827	1
50	7610	7698	1
75	11520	11594	1
100	15000	15368	2

a. (O fim de escala considerado é 15 mS/cm)

Para a medição de temperatura a temperatura foi simulada através de uma estufa com controlo de temperatura e foram consideradas padrão as leituras fornecidas por um indicador digital de temperatura de precisão (Tabela V.2). Para esta variável a exactidão obtida foi de aproximadamente  $\pm 1$  % FE (5-25 °C).

Tabela V.2 - Resultados finais do sistema de medição de temperatura

Valor Teórico (%)	Valor Padrão (°C)	Valor Aplicado (°C)	Valor Medido (°C)	Erro FE <sup>b)</sup> (%)
0	5	5,0	4,6	2
25	10	10,0	9,7	1
50	15	15,0	15,2	1
75	20	20,0	19,5	2
100	25	25,0	24,5	2

b. (O fim de escala considerado é 25 °C)

Na situação da medida de turbidez a exactidão obtida encontra-se compreendida entre 5 % e 10 % FE (0-400 NTU) e pode ser melhorado desenvolvendo mais o protótipo do sensor que demonstrou alguma instabilidade nas medições efectuadas.

Tabela V.3 - Resultados finais do sistema de medição de turbidez

Valor Teórico (%)	Valor Padrão (NTU)	Valor Medido (NTU)	Erro FE <sup>c)</sup> (%)
3	10	29	5
25	100	61	10
40	160	127	8
50	200	230	8
100	400	359	10

c. (O fim de escala considerado é 400 NTU)

De uma forma geral pode dizer-se que os valores de exactidão obtidos satisfazem a aplicação desejada. Considera-se que os resultados podem ser melhorados através da utilização de equipamentos padrão mais exactos e do desenvolvimento dos protótipos dos sensores nomeadamente do sensor de turbidez que demonstrou pouca repetibilidade e alguma instabilidade.

## **V.6. Conclusões**

No decorrer deste capítulo é possível compreender que recorrendo à utilização do software LabVIEW, para efectuar a programação e implementação das curvas características e monitorização dos valores medidos, se dispõe de um conjunto numeroso de soluções de cálculo e lógica muito poderosas e versáteis para efectuar o processamento dos sinais adquiridos. Qualquer alteração que seja necessária, é facilmente realizada através da modificação do programa de software, ao contrário de métodos onde o processamento dos sinais adquiridos é efectuado através de circuitos electrónicos, situação esta em que efectuar uma alteração de uma função significa uma alteração de hardware, a qual é bastante mais complexa de realizar sem obter vantagens significativas. Através dos resultados experimentais que se obtiveram é possível observar que os valores de exactidão obtidos são satisfatórios quando comparados com outros equipamentos comerciais [31 - 34] de valor económico mais elevado.



# Capítulo VI

## Conclusões Gerais

Neste capítulo encontra-se uma descrição das conclusões gerais e observações resultantes da forma como decorreu a realização deste projecto. Os objectivos iniciais que foram propostos são lembrados e acompanhados das soluções encontradas para os atingir, assim como as principais conclusões obtidas em cada fase do trabalho. São efectuadas apreciações sobre os resultados finais obtidos e são também apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que possam dar continuidade a este projecto que se apresenta como uma contribuição tecnológica de apoio ao controlo e preservação ambiental.

## **VI.1. Conclusões Gerais e sugestões para projectos futuros**

Ao efectuar a conclusão deste projecto é importante relembrar as motivações que levaram à sua concretização, as quais são resultantes das crescentes preocupações ambientais e da necessidade de redução da poluição para níveis aceitáveis de forma a obter um desenvolvimento sustentável e de melhorar a convivência entre o homem e a indústria. Nos dias correntes, é um facto positivo poder notar a alteração de comportamentos e práticas de ordem industrial e humana no sentido de dar maior importância às questões relacionadas com a preservação do ambiente. Estas alterações reflectem-se bastante na educação das gerações mais jovens e também na sensibilidade e consciência das restantes gerações da sociedade actual. Desta forma a realização deste projecto que constituiu em mais um contributo nesse sentido de valorização ambiental nomeadamente na qualidade da água, teve como principais objectivos iniciais:

1. Construir um instrumento virtual “*Low-cost*” para o estudo, medição e monitorização de alguns dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água (condutividade eléctrica, temperatura e turbidez).
2. Ser flexível ao aumento do número de variáveis físico-químicas a medir para além das que foram escolhidas.
3. Dotar o sistema de medida da possibilidade de efectuar medições remotas.

Para este efeito desenvolveram-se os sistemas seguintes onde se obtiveram as seguintes conclusões e considerações:

### Medição de Condutividade Eléctrica:

A primeira fase do projecto consistiu em desenvolver o sistema de medição de condutividade eléctrica da água, onde se pretendia obter uma gama de medição suficientemente abrangente para efectuar a medição em rios e sua zona estuária. Para esse efeito e após a análise dos vários tipos de célula, seleccionou-se uma célula de dois eléctrodos por contacto, a qual devido à sua simplicidade e robustez se apresentou como uma boa escolha para o método adoptado de medição por resistividade eléctrica da água. De forma a evitar os fenómenos de

polarização nos eléctrodos da célula de medida foi utilizada tensão alternada sinusoidal gerada através de uma montagem osciladora *Ponte de Wien*. A qual, após alguns testes se mostrou eficaz ao funcionar em conjunto com o circuito electrónico condicionador e este com o programa desenvolvido para monitorização da condutividade. Este programa consistiu principalmente em implementar a curva característica obtida no procedimento experimental e efectuar a compensação de temperatura. Os resultados obtidos consideram-se satisfatórios e positivos para a gama de medição pretendida confirmados pela exactidão obtida de 2%.

#### Medição de Temperatura:

Em seguida foi desenvolvido um sistema de medição de temperatura baseado na utilização de um sensor “NTC” de resistência variável com a temperatura de coeficiente de temperatura negativo, associado a um circuito electrónico condicionador para aquisição da medida. A sua escolha baseou-se na sua simplicidade de execução e baixo custo do sensor. O processamento e indicação virtual foram implementados com o objectivo de efectuar a monitorização da temperatura e também a sua compensação na condutividade, sem a qual se obtêm desvios significativos. Após terem sido realizados os testes finais, confirmaram-se os bons resultados para este sistema, uma vez que, a exactidão obtida situou-se próximo de 1% para a gama de funcionamento pretendida.

#### Medição de Turbidez:

Por último desenvolveu-se o sistema de medição da turbidez baseado na interferência óptica que as partículas em suspensão na água provocam na luz. Este método consistiu na utilização de dois feixes de infravermelhos dispostos perpendicularmente numa célula de medida controlados pelo software desenvolvido, de forma a efectuar a medição da luz transmitida e da luz dispersa ou reflectida que caracterizam o método aplicado. O programa desenvolvido, para além de efectuar o controlo da emissão e detecção da luz, também efectua o cálculo da turbidez através da função correspondente à curva característica obtida. Na medição desta variável registaram-se algumas dificuldades ao nível da repetibilidade do sensor, sendo este um aspecto que pode ser melhorado no futuro. No entanto durante o procedimento experimental a não linearidade obtida conduziu à hipótese de ser também possível obter melhores resultados, se a detecção efectuada pelos dois sensores for feita de forma diferente.

Ou seja, para a primeira metade da gama de medição ter em consideração apenas a luz reflectida, dado que a sua detecção se mostra mais sensível neste intervalo ao invés da luz transmitida, que nesta gama demonstra pouca sensibilidade e na segunda metade da gama de medição ter em consideração a detecção da luz transmitida, a qual para valores de turbidez mais elevados apresentou melhor sensibilidade nos testes efectuados. Apesar das dificuldades encontradas, de uma forma geral podem-se considerar satisfatórios os resultados obtidos na exactidão final, embora também se considere que podem ser efectuadas alterações como a que foi indicada anteriormente no sentido de melhorar este resultado.

#### Fonte de alimentação:

A possibilidade de não dependência exclusiva da alimentação da rede eléctrica permite ao sistema ser utilizado não só em laboratório, mas também no terreno junto dos meios aquáticos que se pretendem estudar, providenciando assim ao utilizador algumas horas de autonomia e a comodidade de obter as leituras imediatamente no local. A fonte de alimentação desenvolvida demonstrou-se plenamente satisfatória, quer pelo do funcionamento através da rede eléctrica ou das baterias, uma vez, que não se detectaram diferenças no funcionamento dos circuitos electrónicos quando é feita a comutação de uma opção para a outra. No entanto, no caso da utilização das baterias de lítio é necessário ter em atenção respeitar o período de tempo máximo de utilização e não permitir que descarreguem totalmente, dado que estas se podem danificar e aos elementos em seu redor.

#### Programa de monitorização e indicação:

Para efectuar a indicação e monitorização dos valores medidos num ambiente virtual, foi necessário desenvolver um programa VI em LabVIEW, o qual consistiu em efectuar a configuração dos canais analógicos e digitais de entrada e saída da placa de aquisição NI USB 6008, correspondentes a cada variável e o seu processamento individual de forma a implementar em software, as curvas características obtidas no procedimento experimental e obter a indicação do valor medido no painel de indicação virtual. Foi possível constatar que a utilização deste método tem a vantagem de tornar possível realizar qualquer alteração no processamento dos sinais adquiridos através da simples modificação do programa, o que é

uma tarefa bastante mais complicada de realizar em sistemas onde o processamento é efectuado por hardware recorrendo à utilização e integração de circuitos integrados. Outra grande vantagem é a possibilidade de dispor de um grande número de poderosas funções de programação e processamento já existentes nas bibliotecas do programa LabVIEW, que oferecem ao programador a possibilidade de facilmente encontrar uma ou várias soluções para a situação que pretende programar. Esta flexibilidade tem também a vantagem de se poder acrescentar um maior número de variáveis e efectuar o seu processamento e indicação no mesmo programa não existindo limitação desse número para além da limitação imposta pela quantidade de entradas/saídas disponibilizadas pela placa de aquisição utilizada. O painel de indicação é também bastante fácil de alterar no sentido de melhorar a leitura por parte do utilizador, visto que dispõe de uma quantidade vasta de indicadores numéricos analógico ou digitais assim como barras animadas que permitem o programador otimizar o ambiente virtual de indicação. Esta é também uma grande vantagem, quando comparada com outros sistemas de indicação por displays de cristais líquidos, ou outros onde não é possível efectuar alterações ou adicionar a indicação de novas variáveis.

### Conclusões finais:

Considera-se que os resultados finais obtidos são satisfatórios, uma vez que os objectivos iniciais foram atingidos na generalidade e comprovados pelos resultados positivos de todo o sistema de medição, quer na parte dos protótipos dos sensores desenvolvidos e dos seus correspondentes circuitos condicionadores, quer da parte do programa de monitorização. Os testes efectuados ao sistema de medição demonstram que este está apto a cumprir as funções que inicialmente foram definidas e que pode também ser alvo de algumas optimizações, para além de ser um projecto que pode ter continuidade no seu enriquecimento técnico. De uma forma geral considera-se que o projecto decorreu de uma forma muito satisfatória e é também muito importante referir que a realização deste projecto culminou com a publicação de um artigo técnico [35], publicado e apresentado na conferência internacional IEEE 2012 (International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering - EPE 2012), realizada em Iasi na Roménia de 25 a 27 de Outubro de 2012, o qual é um grande motivo de satisfação e gratificação para os seus intervenientes.

### Sugestões para Projectos Futuros:

- O protótipo desenvolvido para a medição de turbidez pode ser alvo de melhorias ao nível da repetibilidade, optimizando a estrutura e estanquicidade do sensor. É possível efectuar optimizações ao nível da exactidão, através da divisão da gama de medida em duas partes e efectuado o estudo de outras combinações de geração dos feixes e aquisição dos valores de luz detectados.
- O projecto pode ser enriquecido tecnicamente ao acrescentar outras variáveis ao sistema de medida seguindo o mesmo método, tal como o pH, oxigénio dissolvido, profundidade de submersão do sensor, ORP, entre outras.
- Desenvolvimento de um sistema de comunicação wireless por GSM, para medições permanentes em locais remotos.
- Adição de um circuito electrónico que controle a carga e descarga equilibrada das baterias de lítio e um programa que detecte o valor mínimo de alimentação que garante um correcto funcionamento dos circuitos.

# Bibliografia

- [1] Transactions on Systems, Signals & Devices Vol.3, N°4, pp. 483-497, “*Development and Characterization of a Conductivity Cell for Water Quality Monitoring*”, 2008
- [2] “*Water quality Conductivity*”, <http://waterontheweb.org/under/waterquality/conductivity.html>, 11 May 2004
- [3] “*NI-Datasheet-ds-218*”, User Guide and Specifications, 2011, ([www.ni.com](http://www.ni.com)).
- [4] “*NI USB-6008/6009*”, User Guide and Specifications, May 2008.
- [5] “*Temperature compensation*”, <http://www.horiba.com/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/ph-knowhow/the-story-of-conductivity/the-fundamentals/temperature-compensation/>, 2011
- [6] Prof Gustavo da Silva, “*Instrumentação Industrial – Vol.II*”, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Julho 2004
- [7] Josep Torrent, “*Low-cost Conductivity Cells for Water measurement Purposes*”, IMTC 2004 – Instrumentation and Measurement Technology Conference, Como, Italy, 18-20 May 2004
- [8] Diego Ramírez Muñoz, Silvia Casans Berga, “*An analog electronic interface to measure electrical conductivity in liquids*”, Dpto. Ingeniería Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Valencia, Spain, July 2005
- [9] Dominique Richebon, “*Portugal Une Experience Professionnelle et Culturelle*”, Relatório de estágio, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, 2009.
- [10] “*Analysis of a Digitally Controlled Wien-Bridge Oscillator*”, <http://www.maxim-ic.com/an3846>, 24 May 2006

- [11] Prof. Miguel Dias Pereira, “*Apontamentos teóricos da disciplina PTS I (Capítulos 1 a 5)*”, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, 2003
- [12] “*LF356 JFET Input Operational Amplifier*”, Data Sheet, National Semiconductor, December 2001.
- [13] Ph.D. Albert Paul Malvino, “*Princípios de Electrónica 6ª Edição-Volume 2*”, McGRAW-HILL, Julho 2000.
- [14] Prof. Gustavo da Silva, “*Instrumentação Industrial – Vol.I*”, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Julho 2004
- [15] “*Circuit Maker 2000 - The virtual electronics lab*”, [www.circuitmaker.com](http://www.circuitmaker.com), 2000
- [16] “*LM78XX (KA78XX, MC78XX), Fixed Voltage Regulator (Positive)*”, Datasheet Rev.B, Fairchild Semiconductors, 1999
- [17] “*KA79XX/KA79XXA, 3 Terminal, 1 A, Negative Voltage Regulator*”, Datasheet Rev. 1.0.1, Fairchild Semiconductors, 2002
- [18] “*Water quality - Turbidity*”, <http://www.waterontheweb.org/under/waterquality/turbidity.html>, January 2009.
- [19] “*Turbidity definition – What is?*”, [www.isa-is.org.il/0212Lect/ostern\\_IN.pdf](http://www.isa-is.org.il/0212Lect/ostern_IN.pdf), 2012
- [20] “*Importance of Turbidity*”, EPA Guidance Manual – Turbidity Provisions, [www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/turbidity/chap\\_07.pdf](http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/turbidity/chap_07.pdf), April 1999
- [21] “*A Turbidez em Águas - Edição 2*”, Boletim técnico Policontrol, Julho 2006
- [22] “*Turbidity Units of Measure*”, [www.optek.com/Turbidity\\_Measurement\\_Units.asp](http://www.optek.com/Turbidity_Measurement_Units.asp), 2012



- [23] “A New Design of Low-Cost Four-Beam Turbidimeter by Using Optical Fibers”, IMTC 2005 - Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, 17-19 May 2005
- [24] Postolache, O.; Girão, P.M.; Dias Pereira, J. M.; Ramos, H. G.; "Multibeam Optical System and Neural Processing for Turbidity Measurement", IEEE Sensors Journal, Vol. 7, No. 5, pp. 677 - 684, May, 2007
- [25] “NPN Epitaxial Silicon Transistor BD137”, Data Sheet, Fairchild Semiconductor, February 2000.
- [26] “Conductivity meter with RS-232 serial link RS 180 – 7127”, [uk.rs-online.com/web/p/ph-water-analysis-meters/1807127](http://uk.rs-online.com/web/p/ph-water-analysis-meters/1807127), 2011
- [27] “Vacuum drying ovens - VD series 23”, Datasheet, Binder, 28.07.2010
- [28] “Testo - Instrumentos de medição para Temperatura”, Catálogo técnico, 2010
- [29] Prof. Octavian Postolache, “Apontamentos teóricos da disciplina Sistemas de medida Suportados em Instrumentação Virtual – Mestrado em Integração de Sistemas Industriais”, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, 2008
- [30] “NI LabVIEW for Automation Measurements and Processing Signal Data”, [www.ni.com/labview/applications/daq/](http://www.ni.com/labview/applications/daq/), National Instruments, 2012
- [31] Honeywell, “Installation Instructions for the ISSUE 1 APMS-10G Wash Process Sensor Application Kit - Issue 1 PK 80022”, <http://www.honeywell.com/sensing>, 2008
- [32] “MiniView Turbidity Sensor”, Datasheet, Guided Wave Inc., 2011
- [33] “Hydrolab Quanta Multiparameter Sonde”, [www.hachhydromet.com/web/ott\\_hach.nsf/id/pa\\_quanta.html](http://www.hachhydromet.com/web/ott_hach.nsf/id/pa_quanta.html), 2012

- [34] “*Rosemount Analytical Model 1057 Multiparameter Analyser*”, [www2.Emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/instruments/1057Pages/index.asp](http://www2.Emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/instruments/1057Pages/index.asp), 2012
- [35] Rui Peixeiro<sup>1</sup>, Octavian Postolache<sup>1,2</sup>, José Miguel Dias Pereira<sup>1,2</sup>, Escola Superior de Tecnologia (LabIM-ESTS/IPS)<sup>1</sup>, Setúbal, Portugal, Instituto de Telecomunicações/ISCTE-IUL<sup>2</sup>, Lisboa, Portugal, “*Virtual Instrument for Water Quality Parameters Measurement*”, IEEE International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2012), Iasi-Romania, <http://www.epe.tuiasi.ro/2012>, 25-27 October 2012

# Anexo I

## Placa de aquisição NI USB 6008

A placa de aquisição escolhida para aplicar neste projecto foi a NI USB 6008, que permite efectuar a ligação e comunicação ao computador por ficha USB. Esta placa de aquisição faz parte de uma gama de baixo custo do fabricante *National Instruments*. Este módulo de aquisição apresenta muito boa qualidade para efectuar a aquisição, registo e controlo de informação ou de dados provenientes de sensores associados a sistemas de condicionamento de sinal.



Figura AI. 1 - Placa de aquisição NI USB 6008 (extraído de [3])

Esta solução em conjunto com o software LabVIEW do fabricante *National Instruments*, permite dispor de um sistema muito versátil e poderoso para a monitorização dos sinais provenientes de sistemas de medida em ambiente virtual.

### Especificações e dados técnicos:

- 8 entradas analógicas de 12-bit, 10 kS/s  
( $\pm 10$  V para ligação *single-ended* e  $\pm 20$  V1,  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 4$  V,  $\pm 2.5$  V,  $\pm 2$  V,  $\pm 1.25$  V,  $\pm 1$  V para *modo diferencial* )
- 2 saídas analógicas de 12-bit, (0 - 5 V)
- 12 canais de I/O digitais programáveis
- 1 contador de 32-bit, 5 MHz

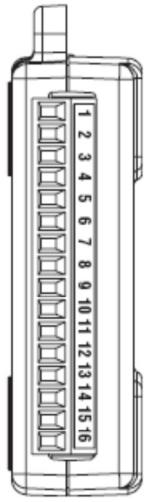
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Figura AI. 2 - Esquema de ligações das entradas/saídas analógicas da placa de aquisição NI  
USB 6008

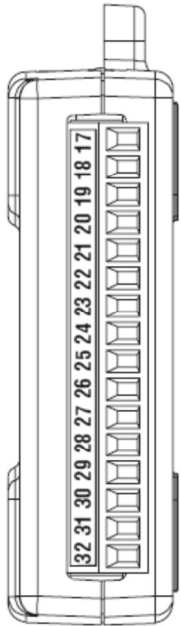
Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Figura AI. 3 - Esquema de ligações das entradas/saídas digitais da placa de aquisição NI USB  
6008

# Anexo II

## Termómetro Digital Testo 720



Figura AII. 1- Pormenor do Termómetro Digital Testo 720

### Especificações e dados técnicos:

Temperatura de armazenamento	-30 ... +70 °C
Temperatura de funcionamento	-20 ... +50 °C
Tipo de pilha	Pilha quadrada de 9V
Vida da pilha	70 h
Peso	171 g
Medidas	182 x 64 x 40 mm
Material/Caixa	ABS

#### Tipo de sonda NTC

Range de medição	-50 ... +150 °C
Exactidão	±0.2 °C (-25 ... +40 °C) ±0.3 °C (+40.1 ... +80 °C) ±0.4 °C (+80.1 ... +125 °C) ±0.5 °C (Gama de medição restante)
Resolução	0.1 °C

#### Tipo de sonda Pt100

Range de medição	-100 ... +800 °C
Exactidão	±0.2% do v.m. (+200 ... +800 °C) ±0.2 °C (Gama de medição restante)
Resolução	0.1 °C

# Anexo III

## Estufa de Secagem Binder KB 53



Figura AIII. 1 - Pormenor da Estufa de secagem Binder KB 53

### Especificações e dados técnicos:

#### Dimensões externas

Comprimento (mm)	635
Altura (mm)	840
Profundidade (mm)	580
Comprimento da parede, Traseira (mm)	100
Comprimento da parede, Lateral (mm)	160
Número de portas	1
Porta de vidro interior	1

#### Dimensões internas

Comprimento (mm)	400
Altura (mm)	400
Profundidade (mm)	330
Volume Interior (l)	53
Racks (número standard/max.)	2 / 4
Peso por rack (kg)	15

Peso total permitido (kg)	40
Peso (vazio) (kg)	72

### **Dados de temperature**

Range de temperatura (°C) <sup>1)</sup>	-5 / + 100
Variação de temperatura	
aos 4 °C (± K)	0,6
aos 25 °C (± K)	0,2
aos 37 °C (± K)	0,3
Flutuação máxima de temperatura (± K)	0,1
Tempo de recuperação após a porta ter sido aberta durante 30 s <sup>2)</sup>	
a 4 °C (min.)	4
a 37 °C (min.)	1

### **Dados eléctricos**

Classe de protecção IP de acordo com EN 60529	IP 20
Voltagem (± 10%) 50 Hz (V)	230, 1 N ~
Potência nominal (kW)	0,46
Consumo de energia <sup>3)</sup>	
aos 37 °C (W)	215
Nível de ruído (dB (A))	47

<sup>1)</sup> Os valores mais baixos são válidos até uma temperatura ambiente máxima de 25 °C.

<sup>2)</sup> Até 98% do valor ajustado.

<sup>3)</sup> Estes valores podem ser utilizados para o dimensionamento de sistemas de ar condicionado.

# Anexo IV

## Condutivímetro RS 180 - 7127



Figura IV. 1 - Pormenor do condutivímetro RS 180 - 7127

### Especificações e dados técnicos:

Gama de Condutividade	0.1 → 199.9 $\mu\text{S/cm}$ , 0.2 → 1.999 $\text{mS/cm}$ , 2 → 19.99 $\text{mS/cm}$
Resolução	0.1 $\mu\text{S/cm}$ , 0.001 $\text{mS/cm}$ , 0.01 $\text{mS/cm}$
Exactidão da Condutividade	$\pm 2\% \text{FS}$
Gama de Temperatura	0 → +60 °C (+32 → +140 °F)
Resolução	$\pm 0.1^\circ\text{C}$ ( $\pm 0.1^\circ\text{F}$ )
Exactidão	$\pm 0.8^\circ\text{C}$ ( $\pm 1.5^\circ\text{F}$ )

Função Auto-power OFF

Função de indicação Hold

Display duplo com ajuste de contraste

Condutivímetro com Porta série RS-232

Registo de valor máximo, mínimo e média

Ponta de prova destacável para medição de temperatura e condutividade.